



DIPLOMARBEIT  
Master Thesis

U-Bahn Sofia – Projekt Anbindung „Studentski grad“ an die U1  
Variantenstudie – Offene Bauweise mit Bohrpfählen

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades  
eines Diplom-Ingenieurs/ einer Diplom-Ingenieurin

unter der Leitung von

Univ. Prof. DI Dr. techn. Hans Georg Jodl

E334-1

Institut für interdisziplinäres Bauprozessmanagement  
Forschungsbereich baubetrieb und Bauverfahrenstechnik

eingereicht an der Technischen Universität Wien  
Fakultät für Bauingenieurwesen

von

Elvina Stoynova

0427340

Moravcha 26A  
1225 Sofia, Bulgarien

## VORWORT

An dieser Stelle möchte ich mich bei Herrn o. Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. H. G. Jodl für seine Unterstützung und Betreuung beim Erstellen der Diplomarbeit am Institut für interdisziplinäres Bauprozessmanagement an der TU Wien bedanken. Großer Dank gebührt auch Herrn Dipl.-Ing. D. Resch, der seine Zeit immer zur Verfügung gestellt hat und für seine engagierte Betreuung und Mithilfe bei der Ausarbeitung gegenständiger Diplomarbeit.

Besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dipl.-Ing. G. Ilov, Lehrstuhl „Geotechnik“ an der Universität für Architektur, Bauingenieurwesen und Geodäsie, Sofia für seine Hilfsbereitschaft und wertvolle Ratschläge.

Weiters möchte ich Herrn Prof. Dipl.-Ing. I. Ivanchev (Lehrstuhl „Verkehrsanlagen“), Herrn Dipl.-Ing. V. Popov (Lehrstuhl „Eisenbahnwesen“) und Herrn Dipl.-Ing. Dr. A. Totsev (Lehrstuhl „Geotechnik“) an der Universität für Architektur, Bauingenieurwesen und Geodäsie, Sofia bedanken, die mir bei der Erstellung dieser Diplomarbeit hilfreich zur Seite gestanden sind.

Auch möchte ich mich bei meiner Freundin und Studienkollegin Rositsa Temelakieva für die zahlreichen Diskussionen bei der Realisierung dieser Variantenstudie bedanken.

Dank gebührt außerdem den angeschriebenen Firmen für die Beantwortung der Anfragen und für die zahlreiche Information.

Mein Dank gilt auch der Firma STRABAG AG, die mich während meines Studiumsaufenthalts in Wien finanziell unterstützt hat.

Ganz speziell möchte ich bei meinen Eltern bedanken, die mich während meines Studiums unterstützt haben und immer hinter mir gestanden sind.

## KURZFASSUNG

Ziel dieser Arbeit ist es, ein Baulos des U-Bahntunnels in offener Bauweise mit Bohrpfahlwänden zu entwerfen und der Baubetrieb und die Kosten darzustellen. Der U-Bahntunnel wird als eine Anbindungsstrecke der U-Bahn Sofia geplant. Für die Anbindungsstrecken wurden vier mögliche Trassenverläufe festgelegt. Als Grundlage für die vorliegende Diplomarbeit wird die Variante B herangezogen (vgl. Pkt. 2.1). Eine alternative Lösung dieser Anbindung wird in der Diplomarbeit „Variantenstudie – Deckelbauweise mit Schlitzwänden“ von Rositsa Temelakieva, Matr. N 0427338 untersucht (Variante A). Beide Variantenstudien dienen als Grundlage für die Gegenüberstellung der unterschiedlichen Bauweisen und für die Empfehlung einer baubetrieblich und bauwirtschaftlich günstigen Ausführung der U-Bahnverlängerung.

Die Ermittlung der Herstellungskosten erfolgte für das 1. Baulos der Variante B. Dieses Baulos wird in offener Bauweise hergestellt (vgl. Pkt. 4.1).

Zu Beginn dieser Diplomarbeit wird die Bohrpfahltechnik allgemein beschrieben. Ausgehend von der Lage und den geologischen Randbedingungen der Ausbauvariante wird im Anschluss ein geeignetes Verfahren für die Bohrpfahlwandherstellung gewählt. Weiters werden der Baubetrieb und die Kosten durch Leistungsansätze aus der Literatur erläutert. Daraus resultierend werden der Bauablauf und der Bauzeitplan festgelegt. Die Kosten werden dabei in Herstellungskosten und Baustellengemeinkosten aufgeteilt. Abschließend werden die Ergebnisse beider Variantenstudien gegenübergestellt und verglichen.

Die gegenständliche Diplomarbeit wird als eine internationale und interdisziplinäre Arbeit ausgeführt. Sie wurde im Rahmen eines Doppel-Degree Studiums am Institut für Interdisziplinäres Bauprozessmanagement der Technischen Universität Wien und am Lehrstuhl für Geotechnik der Universität für Architektur, Bauingenieurwesen und Geodäsie, Sofia erstellt. Die Diplomarbeit befasst sich mit Problemen aus verschiedenen technischen Bereichen. Hierfür wurden Besprechungen mit Betreuer des Lehrstuhls für Eisenbahnwesen, Sofia und des Lehrstuhls für Verkehrsanlagen, Sofia durchgeführt.

## ABSTRACT

The goal of the present work is the design of construction facility (underground tunnel) using open cut method with bored piles and calculation of operation-related and other costs. The underground tunnel was design as connection segment of the metro system of Sofia. For the connection were determined four possible routes. As a basis for the present thesis is used the variant B (comp. Pt. 2.1). The alternative solution of the specified connection was analyzed in the thesis "Study of variants – "Cut and cover" method with diaphragm walls" by Rositsa Temelakieva, faculty No. 0427338 (Variant A). Both variant analyses serve as a basis for comparison between construction technologies and retaining walls and recommendation of the more beneficial tunnel solution from the perspective of construction operation and profitability potential.

The determination of the cost was for the 1st Section of the variant B. This section is prepared in an open cut method (comp. Pt. 4.1).

First it was general described the bored pile technology. Considering the location and geological (framework) conditions of the reconstructive alternative it was selected the suitable method for construction of walls using bored piles. Then the construction operation and costs were explained using principles specified in various texts; stages and construction schedule were specified. Costs were divided into production costs and general costs related to construction. Finally, the results of both analyses were juxtaposed and compared.

The thesis is realized work with international scope and interdisciplinary nature. It was created in the Institute of Interdisciplinary Construction Processes Management, Technical University in Vienna associated with the Department of Geotechnics, University of Architecture, Civil Engineering and Geodesy in Sofia as a part of the educational process (Double Degree Programm/major attainment). The thesis explores problems of various technical fields; discussions were realized with participants from the departments: Railway Construction (Sofia) and Transport Structural Facilities (Sofia).

## ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

Abb.	Abbildung
AN	Arbeitsnehmer
AT	Arbeitstag
AV	Abschreibung und Verzinsung
Bl.	Block
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
Cont.	Container
EW	Einwohner
Fa.	Firma
gewerbl.	gewerblich
GHPI	Großhandelspreisindex
GOK	Geländeoberkante
GW(S)	Grundwasser(spiegel)
GZ	Gesamtzuschlag
H-Bagger	Hydraulikbagger
hydr.	hydraulisch
inkl.	inklusive
LKW	Lastkraftwagen
LS	Ladespiel
max.	maximal
min.	minimal
mind.	mindenstens
Mio.	Million
MLK	Mittellohnkosten
MLP	Mittellohnpreis
Mo	Monat
MwSt	Mehrwertsteuer
NW	Neuwert
ÖBGL	Österreichische Baugeräteliste
Rep	Reparaturentgelt
Rep- S	Reparaturentgelt- Sonstiges
Rep-L	Reparaturentgelt Lohn
RQ	Regelquerschnitt

---

sog.	sogenannt
Stk.	Stück
TL	Tieföffel
TVW	Tandemvibrationswalzen
u.a.	und andere
unprod.	unproduktiv
usw.	und so weiter
Vgl.	Vergleich
Wo	Woche
z. B.	zum Beispiel

## INHALTVERZEICHNIS

1	Einleitung .....	9
2	Anbindung zur Linie 1 .....	10
2.1	Allgemein .....	10
2.2	Offene Bauweise im U-Bahnbau der Anbindung .....	13
2.3	Regelquerschnitte .....	16
2.3.1	Regelquerschnitt 0 .....	17
2.3.2	Regelquerschnitt 1 .....	18
2.3.3	Regelquerschnitt 2 .....	19
3	Bohrpfahltechnik .....	20
3.1	Allgemeines .....	20
3.1.1	Kurzbeschreibung .....	20
3.1.2	Definitionen nach ÖNORM EN 1536 .....	21
3.1.3	Pfahlarten	
3.2	Anwendungsgebiete .....	24
3.3	Vor- und Nachteile .....	25
3.4	Verfahrenstechnik des Bohrpfahls .....	26
3.4.1	Arbeitsablauf .....	26
3.4.2	Bohrschablonen .....	29
3.4.3	Bohrlochherstellung .....	29
3.4.3.1	Verrohrte Pfahlherstellung .....	30
3.4.3.2	Unverrohrte Pfahlherstellung .....	37
3.4.3.3	Übersicht über die Einsatzbereiche verschiedener Bohrverfahren .....	41
3.4.4	Bewehrung .....	42
3.4.5	Betonieren .....	43
3.4.6	Nachbehandlung des Pfahlkopfes .....	44
4	Projektbeschreibung gewähltetes Bauloses .....	46
4.1	Allgemeine Daten .....	46
4.2	Technische Projektdaten der Tunnelstrecke des 1. Bauloses .....	48

---

4.3	Bauausführung .....	48
4.3.1	Baugrube	
4.3.1.1	Voraushub.....	49
4.3.1.2	Bohrpfahlherstellung .....	49
4.3.1.3	Aushub der Baugrube .....	52
4.3.2	Innenschale.....	54
4.4	Baustelleneinrichtung .....	57
4.4.1	Großgeräte.....	57
4.4.2	Verkehrsflächen und Transportwege .....	57
4.4.3	Sozial- und Büroeinrichtungen .....	58
4.4.3.1	Personalbedarf.....	58
4.4.3.2	Geplante Einrichtungen .....	58
4.4.4	Lagerräume.....	60
4.4.4.1	Materialbedarf.....	60
4.4.4.2	Lagerräume, -flächen.....	60
4.4.5	Medienversorgung und Entsorgung .....	61
4.4.5.1	Wasserversorgung.....	62
4.4.5.2	Strombedarf .....	62
4.4.6	Baustellensicherung.....	63
5	Kostenermittlung .....	65
5.1	Allgemeines .....	65
5.2	Bauausführungskosten.....	67
5.2.1	Voraushub.....	67
5.2.2	Bohrpfahlherstellung .....	70
5.2.3	Aushub der Baugrube .....	71
5.2.4	Aussteifen .....	74
5.2.5	Innenschale.....	76
5.2.5.1	Sohle.....	77
5.2.5.2	Wände und Decke .....	78
5.2.5.3	Kostenzusammenstellung - Innenschale .....	81

---

5.2.6	Rückfüllung/Verdichtung .....	81
5.2.7	Ermittlung des Gesamtpreises .....	84
5.3	Baustellengemeinkosten .....	85
5.3.2	Einmalige Kosten .....	85
5.3.3	Durchschnittliche zeitgebundene Vorhaltekosten der Baustelle .....	88
5.3.4	Gerätekosten der Baustelle.....	90
5.3.5	Baustellengesamtpreis.....	92
5.4	Zusammenstellung des Herstellungspreises.....	92
6	Gegenüberstellung.....	93
6.1	Allgemein.....	93
6.2	Baubetrieb .....	94
6.2.1	Eingesetzte Bauweisen.....	94
6.2.2	Bauarbeiten.....	96
6.2.3	Materialbedarf .....	101
6.2.4	Baustelleneinrichtung.....	102
6.3	Baukosten.....	103
	Quellenverzeichnis .....	105
	Abbildungsverzeichnis.....	107
	Tabellenverzeichnis .....	110
	Anhänge .....	112

## 1 EINLEITUNG

Die Lebensqualität einer Stadt ist stark abhängig von der Leistungsfähigkeit des öffentlichen Nahverkehrs. Die U-Bahn ist ein öffentliches Nahverkehrsmittel, das eine hohe Beförderungsleistung aufweist. Zusätzlich ist die U-Bahn durch ihre Trassierung im Untergrund entkoppelt von den restlichen Verkehrsmitteln. Die wesentlichen Merkmale einer U-Bahn sind folgende:

- Trassenverlauf in einer eigenen Ebene;
- keine Störungen des Betriebs durch Kreuzungen mit Straßen;
- hohe Reisegeschwindigkeit und Leistungsfähigkeit;
- regelmäßiges und zuverlässiges Verkehrsmittel;
- hohe Bau- und Betriebskosten;
- Umweltfreundlichkeit;
- Mögliche schwerwiegende Folgen bei Unfällen oder Bränden in Tunneln.

U-Bahn in Sofia <sup>1,2</sup>: Die Stadt Sofia, eine der ältesten Städte Europas, ist seit dem 22. März 1879 Hauptstadt von Bulgarien und erhielt im 14. Jahrhundert in Anlehnung an den Name der Kirche „Sveta Sofia“ ihren heutigen Namen. Sie hat derzeit 1,3 Mio. Einwohner (EW) und ist politisches, kulturelles und wirtschaftliches Zentrum Bulgariens.

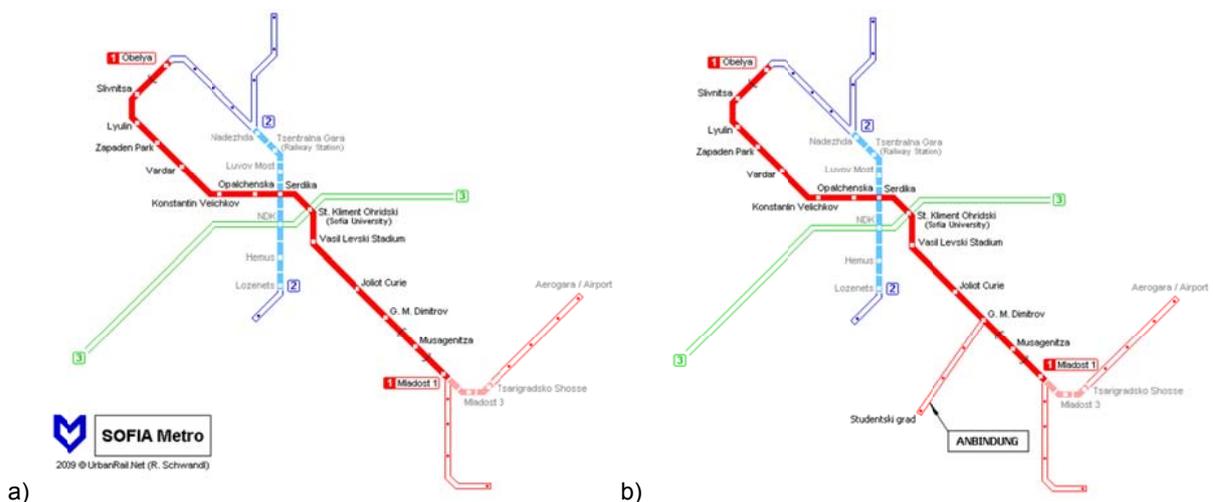


Abb. 1: a) Netzgestaltung der U-Bahn Sofia; b) Netzgestaltung der U-Bahn Sofia mit der geplanten Aststrecke

1978 wurde der U-Bahnbau in Sofia begonnen. Im Endzustand wird die U-Bahn eine Gesamtlänge von 65 km und drei Linien mit 63 Stationen aufgewiesen. Die vorgesehenen Linien werden ein Sekantennetz bilden. Derzeit ist die Linie 1 im Betrieb und die Linie 2 befindet sich im Bauzustand.

<sup>1</sup> Hinkel 2004, S. 169 – 170.

<sup>2</sup> Bratoev 2008.

## 2 ANBINDUNG ZUR LINIE 1

### 2.1 Allgemein

Aufgrund der immer größer werdenden Anzahl an KFZ auf den Straßen des Stadtviertels „Studentski grad“ und der Luftverschmutzung ist eine Anbindung zur Linie 1 der U-Bahn Sofia vorgesehen (siehe Abb. 1b und Abb. 2). Die geplante Verlängerung führt von der schon betriebenen Station 11 „G. M. Dimitrov“ durch „Studentski grad“ und weist drei Stationen auf. Durch die Anbindungsstrecke wird das dicht besiedelte Stadtviertel mit dem Stadtzentrum verbunden.

Im Einzugsbereich der Anbindung liegen vier Universitäten (Universität für chemische Technologie und Metallurgie; Universität für Forstwirtschaft; Universität für National- und Weltwirtschaft; Nationale Sport Akademie). Dort befinden sich auch alle Studentenwohnheime, sowie viele Wohngebäude. Durch eine steigende Einwohnerzahl ist diese Ausbauvariante des U-Bahnnetzes erforderlich. Erstellte Prognosen zeigen, dass durch den U-Bahnausbau zusätzlich ca. 80.000 EW<sup>3</sup> befördert werden können.

Für die Ausführung der U-Bahnverlängerung werden die in der Abb. 2 angegebenen Varianten untersucht. Hierbei werden die Wirtschaft, der Verkehr und die Besiedelung berücksichtigt.

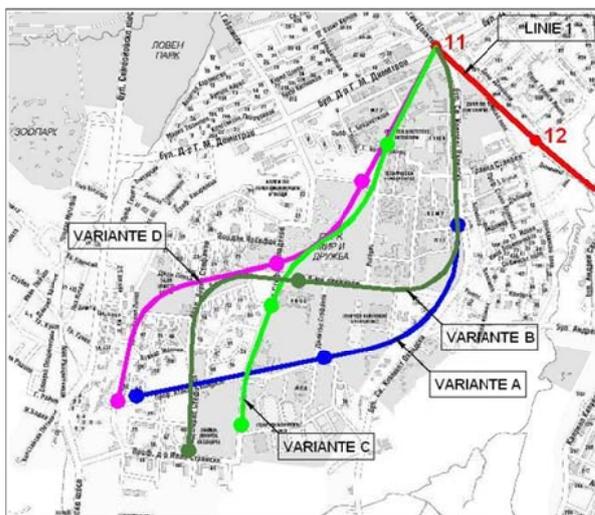


Abb. 2: Schema der vier Anbindungsmöglichkeiten

Die Varianten C und D sind auszuschließen, da die Einbindung der Anbindungsstrecke in die Station 11 der Linie 1 nicht realisierbar ist. Die Varianten A und B stellen somit möglich Ausbauvarianten dar.

<sup>3</sup> Homepage: [www.bg.guide-bulgaria.com](http://www.bg.guide-bulgaria.com) 2007.

Die Variante B wird im Rahmen dieser Diplomarbeit ausführlich untersucht. Die Variante A wird in der Diplomarbeit „Variantenstudie – Deckelbauweise mit Schlitzwänden“ von Rositsa Temelakieva, Matr. N 0427338 betrachtet. Am Ende der gegenständlichen Arbeit werden beide Varianten aus wirtschaftlicher und technologischer Sicht verglichen.

Der geplante Ast der U-Bahn Linie 1 (Variante B) verläuft von der schon vorhandenen Station 11 bis zur Wintersporthalle, hat eine Länge von 3,45 km und weist drei Stationen auf (siehe Abb. 3).

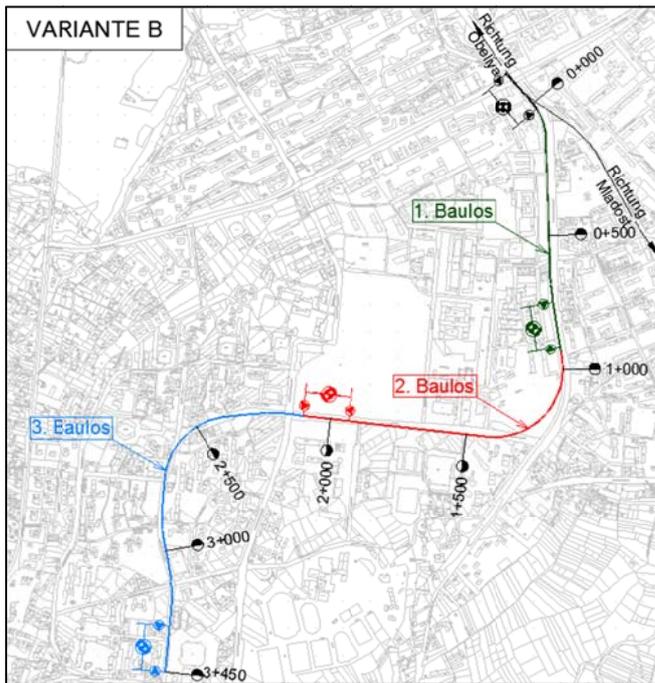


Abb. 3: Lageplan - Variante B – Baulos 1+3

Die Anbindung ist in drei Baulose geteilt. Jedes Baulos endet mit einer Station (siehe Tabelle 1).

Baulos	Länge	Bauweise	
		Tunnel	Station
1	920 m	Offene Bauweise	Offene Bauweise
2	1.180 m	Offene und Deckelbauweise	
3	1.350 m	Deckelbauweise	

Tabelle 1: Baulose

1. Baulos (920 m): Die Trasse folgt im Anschluss an die Station „G. M. Dimitrov“ der bestehenden Linienführung der alten Straßenbahn rechts am „Sv. Kliment Ohridski“ Boulevard bis zur zweiten Station. Aus diesem Grund ist für den Bau

keine Verkehrssperre notwendig. Entlang dieses Bauloses sind die meisten Universitäten situiert.

Der Tunnel wird in offener Bauweise ohne Verkehrsbehinderung errichtet.

2. Baulos (1.180 m): Nach der Universität für Forstwirtschaft biegt die Anbindungsstrecke ab und verläuft entlang „8. Dezember“ Strasse.

3. Baulos (1.350 m): Nach dem Ende der dritten Station folgt die Trasse der „Akad. Boris Stefanov“ Strasse bis zur vorgesehenen Endstation „Wintersporthalle“. Dieser Bereich ist stark verbaut.

Die lichte Breite der Stationen beträgt 15,60 m, mit jeweils zwei 5 m breiten Bahnsteigen. Die Bahnsteige sind seitlich positioniert und besitzen eine Länge von 120 m. Sie sind in der Höhe des Wagenfußbodens (1,2 m über Schienenoberkante) angelegt.

Während der Verkehrssperre soll eine Umorganisation des gesamten Verkehrs (während der Bauzeit der 2. und 3. Baulose) vorgenommen werden. Dort wo Verkehrsbehinderungen nur kurzfristig und abschnittsweise auftreten sollen, wird die Herstellung mittels Deckelbauweise bevorzugt.

Um mit der Anbindungsstrecke den Strassenzügen zu folgen, sind 7 Kreisbogen im Grundriss vorgesehen. Der Mindestradius beträgt 200 m, der Maximalradius 700 m. Die Bogenlängen liegen zwischen 46,73 m und 413,40 m. Die maximale Überhöhung beträgt 110 mm und die freie Seitenbeschleunigung  $a_{cf} = 0,67 \text{ m/s}^2$ . Eine durchschnittliche Zuggeschwindigkeit von 70 km/h wird angenommen. Beim Übergang zwischen der Gerade und dem Kreisbogen wird Übergangsbogen (Klothoide) angeordnet.

Das Geländegefälle ist mit 12 Ausrundungen (minimal Halbdurchmesser 5.000 m und maximal 10.000 m) im Aufriss zu überwinden. Die größte Streckenneigung wird mit 29‰ beschränkt. In den Stationen ist eine Neigung von 5‰ einzuhalten.

Der Tunnel und die U-Bahnstationen befinden sich in unterschiedlichen geologischen Bereichen, die typisch für die oberen Schichten der Erdkruste sind (siehe ANHANG 3). In den verschiedenen geologischen Querschnitten sind Schichten von Kies, Sand oder Ton mit veränderlichen Stärken vorhanden. Der anstehende Boden wird schwach bindigen und mittelschwer löslichen Böden zugeordnet. Der Grundwasserspiegel (GWS) liegt unter der Baugrubensohle.

## 2.2 Offene Bauweise der Anbindung

Der geplante Tunnel wird in offener Bauweise und in Deckelbauweise hergestellt. Bei der Wahl der Verbauart sind:

- die Seichtlage;
- die Bodenverhältnisse;
- die Nachbarbebauung;
- die Verkehrslasten;
- die Platzverhältnisse zu berücksichtigen.

Die offene Bauweise kommt dort zur Anwendung, wo die Trasse seicht liegt (die Tunnelsohle schwankt zwischen 6 m und 11 m unter der Geländeoberfläche) und sie durch geologische Schichten guter Gesteinseigenschaften verläuft. Als Baugrubenumschließung werden Pfahlwände vorgesehen. Die Pfahlwand ist verformungsarm und weist eine weitgehend erschütterungs- und lärmarme Herstellung auf. Für den standfesten, wasserfreien Boden ist eine aufgelöste Pfahlwand mit Achsabstand von 1,2 m gut geeignet.

Offene Bauweisen<sup>4</sup> sind durch Baugruben (siehe Abb. 4) gekennzeichnet, die von der Geländeoberfläche aus hergestellt werden. Nach Aushub der Baugrube wird das Bauwerk von unten nach oben hergestellt wird.

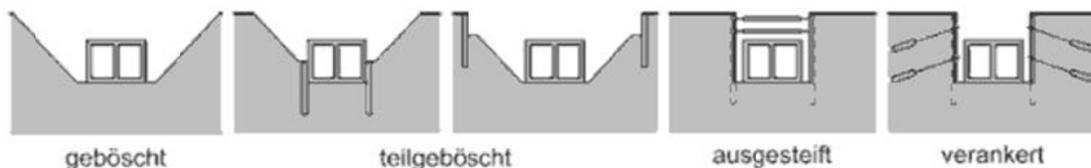


Abb. 4: Baugruben<sup>5</sup>

Die Baugruben können mit oder ohne Verbauwände erstellt werden. Wenn der Tunnel in einer Tiefe kleiner 5 m unter Geländeoberkante (GOK) liegt und genug Platz zur Verfügung steht, kann eine Baugrube mit Böschungen gegebenfalls auch mit Bermen, Holzverbau oder Spritzbeton ausgeführt werden.

Beim Entwurf einer Baugrubensicherung ist eine Reihe von Randbedingungen zu beachten:

- die Grundwassersituation;
- die geologischen Verhältnisse;
- die Platzverhältnisse;

<sup>4</sup> BALDAUF 1988.

<sup>5</sup> PECH 2006, S. 17.

- die Randbebauung;
- die Verkehrsbedingungen.

Als Verbaukonstruktionen für tiefe Baugruben kommen vorwiegend Spundwände, Trägerbohlwände, Bohrpfahlwände und Schlitzwände mit horizontaler Abstützung durch Stahlkonstruktionen oder mit Verankerung zur Anwendung. Die wesentlichen Anforderungen an die Verbauwände sind eine geringe Verformung und die Wasserundurchlässigkeit. Die Verbauwände können als Bauwerkswände des Endzustandes (einschalige Konstruktion) dienen oder nur die Baugrube vor schädlichen Auswirkungen während der Bauzeit (zweischalige Konstruktion) schützen. In den Bauzuständen müssen die Verbauwände Erd- und Wasserdrücke aufnehmen.

Als temporäre Baugrubenumschließung werden folgende Verbauwände bezeichnet:

- Spundwände – durch Rammen, Rütteln, Einpressen oder Einstellen werden Spundbohlen eingebracht, die mittels Schlössern zugfest miteinander verbunden werden. Die Schlösser müssen den Bohlen eine gute Führung beim Einbringen geben und möglichst wasserdicht sein.<sup>6</sup> Die Wände werden entweder gegeneinander ausgesteift oder rückverankert. Das Spundwandverfahren kommt vor allem im Grundwasser vom Einsatz.
- Trägerbohlwände – durch Rammen, Rütteln oder durch Versetzen in vorgebohrte Löcher werden Stahlträger in den Boden eingebracht. Anschließend wird eine Ausfachung aus Holz, Stahl, Stahlbeton oder Spritzbeton ausgeführt. Die Trägerbohlwände sind biegeweich und nicht wasserdicht, somit können sie nur oberhalb dem GWS eingesetzt werden.

Als verbleibende Baugrubenumschließung können folgende Verbauwände angewendet werden:

- Schlitzwände – werden im Greifer- oder im Fräsverfahren erstellt. Der Erdschlitz wird durch die Bentonitsuspension gestützt. Das Betonieren erfolgt im Kontraktorverfahren.
- Bohrpfahlwände – werden aus Ortbeton mit oder ohne Verrohrung erstellt. Das Ausheben des Bodenmaterials erfolgt im verschiedenen Verfahren, z. B. Greiferverfahren, Doppelkopfverfahren, HW-Verfahren, Spülbohrverfahren u. a. Je nach Anordnung der Pfähle wird unterscheiden zwischen überschnittenen, tangierenden oder aufgelösten Wände.

---

<sup>6</sup> MAYBAUM 2009, S.94.

Wenn die Baugrube in das Grundwasser reicht und eine GW-Absenkung nicht möglich ist, wird die sogenannte "Wand-Sohle-Bauweise" angewendet. Eine Möglichkeit hierbei ist die Ausführung einer natürlichen Sohlenabdichtung. Hierfür ist jedoch unterhalb der geplanten Baugrubensohle eine wasserdichte, bindige Bodenschicht (natürlicher Grundwasserstauer) notwendig. Alternativ kann auch eine Unterwasserbetonsohle<sup>7</sup> hergestellt werden. Der Unterwasserbeton muss die Anforderungen für die Festigkeit, die Wasserundurchlässigkeit und den Widerstand gegen chemische Angriffe erfüllen. Als Einbauverfahren kommen Contractor-Verfahren, Hydroventilverfahren und Pump-Verfahren zur Anwendung. Wenn gut injizierbares Lockergestein ansteht, kommen die herkömmlichen Injektionstechniken (Injektionssohle) zur Anwendung. Inhomogenen Böden werden mittels DSV-Verfahren (DSV-Sohlen) bearbeitet.

Das Tunnelbauwerk wird in der gesicherten und entwässerten Baugrube hergestellt. Um Risse in der Betonkonstruktion zu vermeiden sind im Abstand von 8 ÷ 30 m Dehnfugen auszuführen. Die Herstellung der Tunnelkonstruktion kann in verschiedener Weise erfolgen:

- der gesamte Tunnelquerschnitt wird in einem Guss ohne jede Arbeitsfugen betoniert (siehe Abb. 5a) – das führt zu den geringsten Eigenspannungen im Bauwerk und zur geringsten Gefahr der Rissbildung;
- zunächst wird die Sohle betoniert. Anschließend werden die Decke und die Wände zusammen betoniert (siehe Abb. 5b) → es entsteht nur in einer Ebene eine Arbeitsfuge;
- die Sohle und die Wände werden in einem Arbeitsgang erstellt. Die Decke wird im Anschluss ausgeführt (siehe Abb. 5c) → auch hier entsteht die Arbeitsfuge nur in einer Ebene;
- die Sohle, die Wände und die Decke werden in kurzen zeitlichen Abständen nacheinander betoniert (siehe Abb. 5d) → es entsteht Arbeitsfuge in zwei Ebenen.

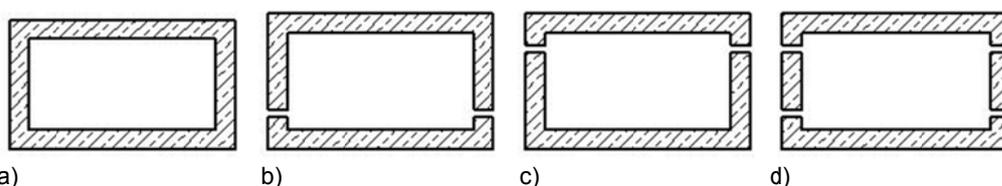


Abb. 5: Mögliche Bauweisen bei Tunnelquerschnitten – a) Bauweise ohne Arbeitsfugen;

b) Wand/Decke-Verfahren; c) Sohle/Wand- Verfahren; d) Sohle, Wand und Decke für sich hergestellt<sup>8</sup>

<sup>7</sup> MAYBAUM 2009, S. 282.

<sup>8</sup> BALDAUF 1988, S. 271.

Die Abdichtung hat die Aufgabe, ein Bauwerk vor Zutritt von Wasser und vor Angriffen aggressiver Wässer oder Böden zu schützen. Die Ausführung der Abdichtung erfolgt durch Bitumenbahnen, Metallbänder oder Kunststoffbahnen. Alternativ kann das Bauwerk auch als „weiße Wanne“ (WU-Beton) ausgeführt werden.

Nach Fertigstellung wird die Tunnelkonstruktion zugeschüttet und die Oberfläche (Straße) wiederhergestellt.

Im Gegensatz zur beschriebenen Bauweise ist durch die so genannte Deckelbauweise eine frühere Freigabe der Geländeoberfläche möglich. Bei dieser Bauweise werden zuerst die Umschließungswände und danach die Deckelkonstruktion aus Stahlbeton hergestellt. Der weitere Ausbau erfolgt unterirdisch. Der Raum über dem Deckel wird verfüllt und die Verkehrsfläche wiederhergestellt.

### 2.3 Regelquerschnitte

Die lichten Abmessungen der Tunnelstrecke und des Stationsbereichs richten sich nach den entsprechenden Lichtraumprofilen. Der Tunnel wird mit einer lichten Höhe von 4,70 m und einer lichten Breite von 8,00 m ausgeführt. In den Stationen beträgt die Höhe 6,50 m und die Breite 15,60 m. Der Tunnel wird zweigleisig, einstöckig und aus Ortbeton in Arbeitsblöcken von 10 m Länge hergestellt. Die Dicke der Wände beträgt 0,50 m, die der Sohl- und Deckplatte 0,60 m.

Abb. 6 zeigt den Einsatz der RQ 0, 1 und 2 entlang der Trasse. Die Einsatzlängen betragen entsprechend 80 m (RQ 0), 2.860 m (RQ 1) und 510 m (RQ 2). Die Regelquerschnitte sind im Querschnitt schematisch in der Abb. 7 dargestellt.

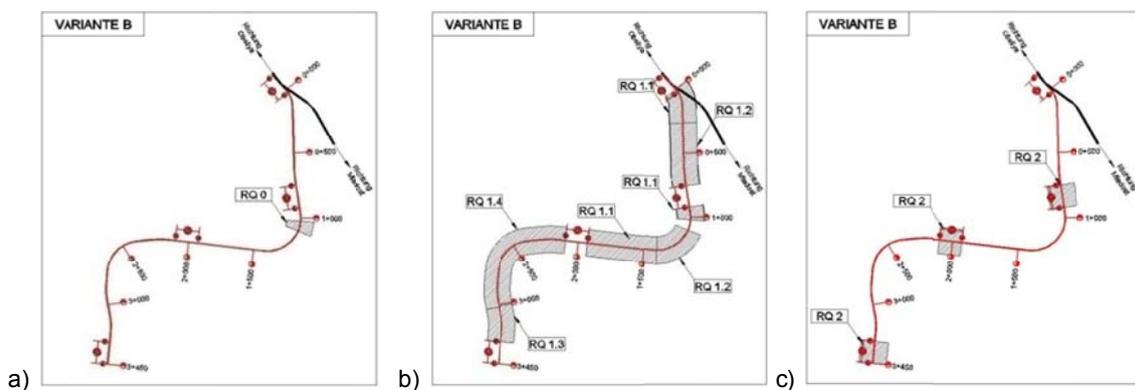


Abb. 6: Einsatz der Regelquerschnitte – a) RQ 0; b) RQ 1 und c) RQ 2

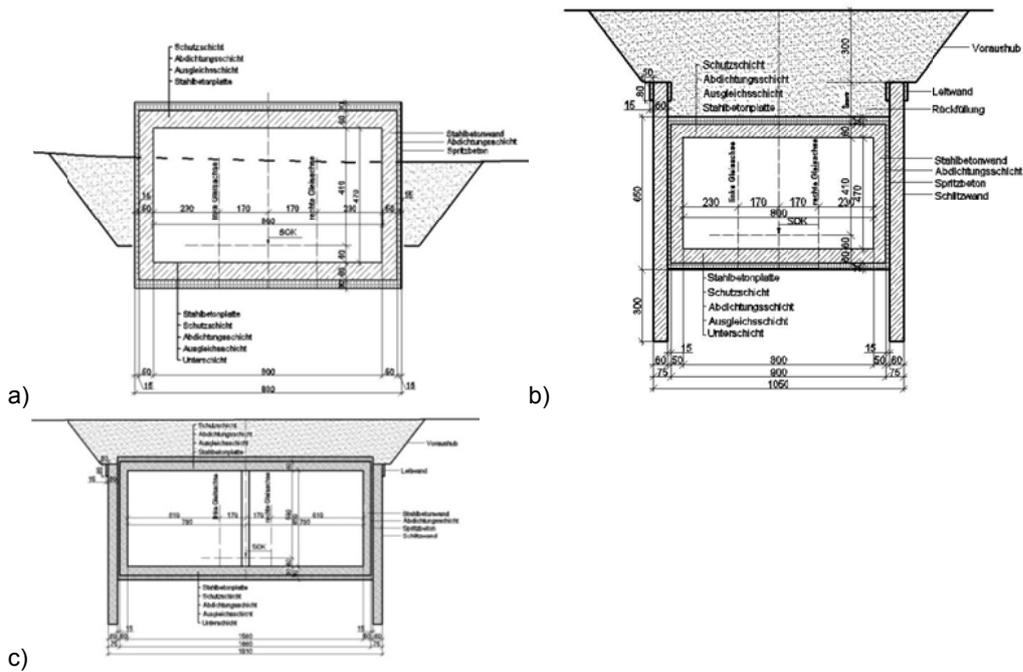


Abb. 7: Regelquerschnitte – a) RQ 0; b) RQ 1 und c) RQ 2

### 2.3.1 Regelquerschnitt 0

Die Tunnelsohle liegt 5 m unter der GOK. Der Tunnelquerschnitt wird einstöckig und einschalig ausgeführt. Die Baugrube wird ausgehoben, wobei sie mittels einer Abböschung<sup>9</sup> mit Bermen (siehe Abb. 8a) oder mittels Spritzbeton oder Holzverbau gesichert wird. Zur Sicherung ist keine massive Verbauwand vorgesehen. Im Anschluss wird die Tunnelkonstruktion hergestellt. Nach Herstellung des Tunnelquerschnittes wird die Baugrube verfüllt und die Geländeoberfläche wird für die geplante Nutzung freigegeben.

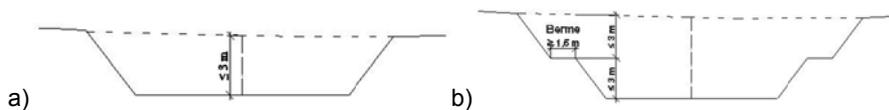


Abb. 8: Regelquerschnitt 0 - a) Baugrube bis 3 m Tiefe; b) Baugrube über 3 m Tiefe

<sup>9</sup> VOTH 1995, S. 45-50.

### 2.3.2 Regelquerschnitt 1

Die tiefe Tunnelsohle schwankt zwischen 5 m und 11 m unter der GOK. Der Tunnel wird als einstöckig und zweischalig ausgeführt. Die Baugrube wird mittels Bohrpfahlwände und Aussteifungselemente gesichert.

Es sind vier Ausführungsvarianten der RQ 1 vorgesehen (siehe Abb. 9). Diese Varianten unterscheiden sich hinsichtlich Art der Bauweise und der Aussteifungselemente. Die Ausführungsvarianten 1.1 und 1.2 werden in offener Bauweise, die Ausführungsvarianten 1.3 und 1.4 in Deckelbauweise hergestellt.

Ausführungsvarianten 1.1: Tiefe der Tunnelsohle bis 5 m. Die Aussteifung erfolgt durch eine Reihe von Stahlrohren.

Ausführungsvarianten 1.2: Tiefe der Tunnelsohle größer 8 m. Es werden zwei Reihen von Stahlrohren angeordnet.

Beim Herstellen des Tunnels mit Ausführungsvariante 1.1 und 1.2 wird zuerst der Voraushub ausgeführt. Nach Fertigstellen der Verbauwände wird das Bodenmaterial bis zur Baugrubensohle mit gleichzeitigem Aussteifen der Verbauwände durch Stahlrohre ausgehoben. Im Anschluss wird die Inneschale bewehrt und betoniert und die Baugrube wird verfüllt.

Ausführungsvarianten 1.3: Tiefe der Deckelunterkante bis 3 m.

Ausführungsvarianten 1.4: Tiefe der Deckelunterkante über 3 m. Der Aushub bis zur Deckelunterkante erfolgt mit gleichzeitigem Aussteifen.

Der Deckel wird auf den vorgefertigten Bohrpfahlwänden hergestellt. Beim tiefliegenden Deckel wird zuerst das Bodenmaterial bis zur Deckelunterkante, mit gleichzeitigem Aussteifen der Verbauwände durch Stahlrohre, ausgehoben. Das Verfüllen der Baugrube und die Wiederherstellung der Verkehrsfläche erfolgen gleichzeitig mit dem unterirdischen Erdaushub bis zur Unterkante der Sohle. Im Schutz des Deckels wird die Innenschale hergestellt.

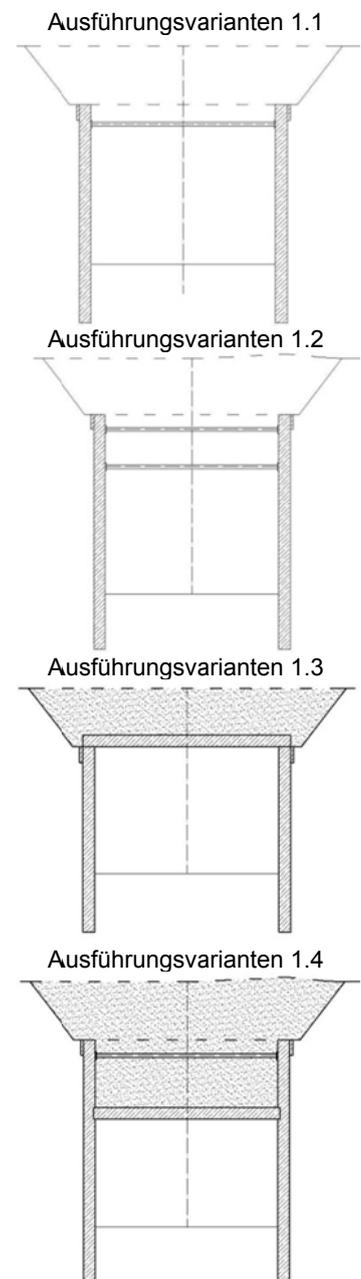


Abb. 9: RQ 1

### 2.3.3 Regelquerschnitt 2

Tiefe der Tunnelsohle bis 13 m. Die Tunnelkonstruktion wird einstöckig ausgeführt. Um einen freien Arbeitsraum zu erhalten wird die Baugrube mit einfach rückverankerten Verbauwänden gesichert. (siehe Abb. 10). Im Anschluss wird die Innenschale hergestellt und die Baugrube verfüllt.



Abb. 10: RQ 2

### 3 BOHRPFAHLTECHNIK

#### 3.1 Allgemeines

##### 3.1.1 Kurzbeschreibung

Pfähle sind schlanke Bauelemente im Boden, die die Lasten nicht selbständig tragen, sondern diese in geeigneter Weise auf dem Boden weiterleiten.<sup>10</sup> Der Lastabtrag in den Baugrund erfolgt im Allgemeinen sowohl über die Pfahlspitze als auch über den Pfahlmantel.

Seit über 2000 Jahren gibt es in den Böden gerammte Holzpfähle. Im 20. Jahrhundert wurden auch andere Pfahlarten – Bohr- und Mikropfähle entwickelt. Heute werden die Bohrpfähle am häufigsten verwendet.

In den Städten werden die Pfähle als Gründungselement, oder als Verbauwand für die Baugrube verwendet. Pfähle werden zu den biegesteifen, und im Baugrund verbleibenden Verbaumaßnahmen gezählt.

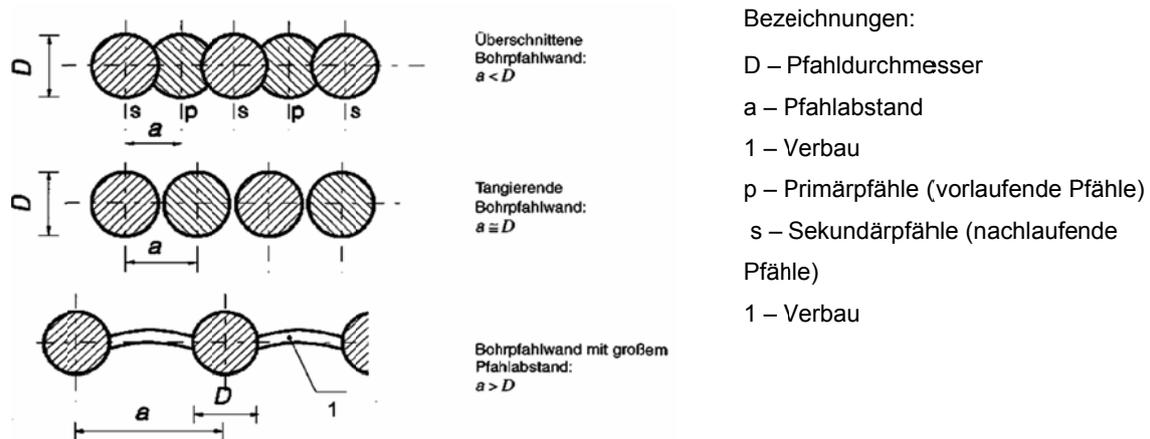
Nach der Anordnung der Pfähle werden folgende Pfahlwandtypen<sup>11</sup> unterschieden (siehe Abb. 11):

- aufgelöste Bohrpfahlwand,  $a > D$  – der Achsabstand der Pfähle ist größer als der Pfahldurchmesser. Zwischen den einzelnen Pfählen, die alle bewehrt sind, bildet sich bei standfesten, wasserfreien oder injizierten Böden ein natürliches Gewölbe. Bei nicht standfestem Boden wird der Zwischenraum bei fortschreitendem Aushub mittels Spritzbeton gesichert.
- tangierende Bohrpfahlwand,  $a = D + 2(4) \text{ cm}$  – der Achsabstand zwischen Einzelpfähle entspricht ca. dem Pfahldurchmesser. Der theoretische Zwischenraum schwankt zwischen 2 bis 4 cm. Dieser Wandtyp ist nur in Böden ohne Grundwasser anwendbar. Alle Einzelpfähle werden bewehrt.
- überschrittene Bohrpfahlwand,  $a < D$  – der Achsabstand der Pfähle ist kleiner als der Pfahldurchmesser. Dieser Wandtyp wird im Pilgerschrittverfahren ausgeführt. Zunächst werden die Primärfähle unbewehrt und anschließend die Sekundärfähle mit Bewehrung betoniert. Die Primärfähle können mit Beton geringerer Güte oder mit Verzögerungsmittel hergestellt werden, um ein Abweichen beim Überschneiden zu vermeiden. Die überschrittene Bohrpfahlwand wird zu den wasserdichten Wänden gezählt.

---

<sup>10</sup> BRANDL 2006, S. 112/1.

<sup>11</sup> SEITZ 2000, S. 275 – 282.

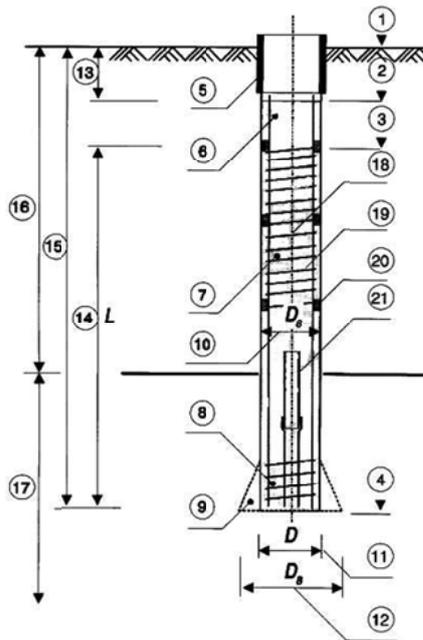
Abb. 11: Typen von Bohrpfahlwänden nach der Anordnung<sup>12</sup>

### 3.1.2 Definitionen nach ÖNORM EN 1536

- Pfahl (en: pile) – Schlankes Bauelement im Baugrund zum Übertragen von Einwirkungen.
- Bohrpfahl (en: bored pile) – Pfahl, der im Baugrund mit oder ohne Verrohrung durch Bohren bzw. Aushub und Verfüllen des geschaffenen Hohlraumes mit Beton oder Stahlbeton hergestellt wird.
- Schneckenbohrpfahl (en: continuous flight auger pile – CFA-pile) – Bohrpfahl, der mittels einer durchgehenden Bohrschnecke mit Seelenrohr hergestellt wird, wobei beim Ziehen der Schnecke durch das Seelenrohr Beton oder Mörtel gepumpt wird.
- Fußaufweitung (en: enlarged base) – Fuß eines Pfahls, der so ausgebildet ist, dass seine Fläche größer als die Pfahlschaftfläche ist. Bei Bohrpfählen wird eine Fußaufweitung üblicherweise mit besonderem Räum- oder Schneidwerkzeug hergestellt.
- Pfahldurchmesser (en: shaft diameter) – Durchmesser des Pfahles im Bereich zwischen Pfahlkopf und Pfahlsohle: bei verrohrt hergestellten Bohrpfählen der äußere Durchmesser der Verrohrung; bei unverrohrt hergestellten Bohrpfählen der äußere Durchmesser der Bohrwerkzeuge.
- Probepfahl (1) (en: preliminary pile) – Pfahl, der vor Beginn der eigentlichen Pfahlausführung auf der Baustelle oder im einem Bauabschnitt hergestellt wird, um die Eignung des gewählten Pfahlsystems zu überprüfen und/oder um den Entwurf, die Abmessungen und die Tragfähigkeit zu bestätigen.

<sup>12</sup> ÖNORM EN 1536 1999, S. 4.

- Probepfahl (2) (en: trial pile) – Pfahl, der hergestellt wird, um die Durchführbarkeit und die Eignung des Herstellungsverfahrens für eine spezielle Anwendung zu untersuchen.
- Probepfahl (3) (en: test pile) – Pfahl, auf den Lasten aufgebracht werden, um das Widerstands-Verformungs-Verhalten des Pfahles und des umgebenden Baugrundes zu ermitteln.



Bezeichnungen:

- |    |                                 |    |                    |
|----|---------------------------------|----|--------------------|
| 1  | Arbeitsebene                    | 11 | Pfahldurchmesser   |
| 2  | Betonierhöhe                    | 12 | Fußdurchmesser     |
| 3  | Planmäßige Pfahlsohle, Kapphöhe | 13 | Leerbohrung        |
| 4  | Aufstandsfläche, Pfahlsohle     | 14 | Länge L            |
| 5  | Führungsrohr                    | 15 | Bohrtiefe          |
| 6  | Pfahlkopf                       | 16 | Überlagerungsboden |
| 7  | Pfahlschaft                     | 17 | Tragfähiger Boden  |
| 8  | Pfahlfuß                        | 18 | Pfahlachse         |
| 9  | Fußaufweitung                   | 19 | Bewehrungskorb     |
| 10 | Schaftdurchmesser               | 20 | Abstandhalter      |
|    |                                 | 21 | Betonierrohr       |

Abb. 12: Geometrie einer Pfahlwand<sup>13</sup>

<sup>13</sup> ÖNORM EN 1536 1999, S. 34.

### 3.1.3 Pfahlarten

Bei den Pfahlsystemen wird grundsätzlich zwischen Verdrängungspfählen, Bohrpfählen und Mikropfählen unterschieden (siehe Abb. 13).

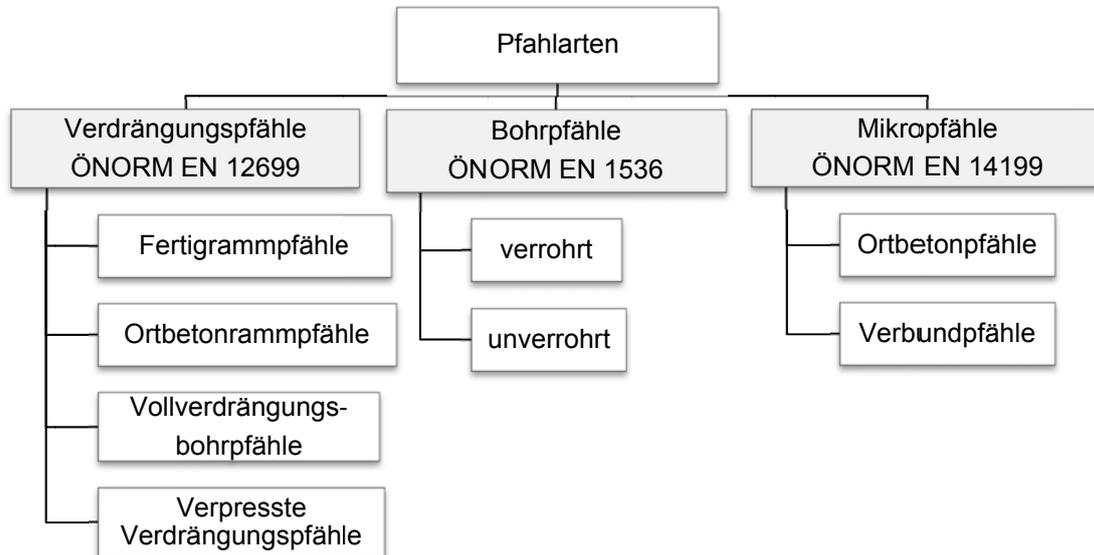


Abb. 13: Übersicht über die Pfahlarten<sup>14</sup>

Verdrängungspfähle werden durch Rammen, Drücken, Rütteln, Eindrücken oder Drehen in den Boden eingebracht. Durch die seitliche Verdichtung der durchfahrenen Bodenschichten ist eine gute Reibung zwischen Pfahl und Untergrund gewährleistet, wodurch eine hohe äußere Tragfähigkeit erreicht wird. Das Einbringen verursacht starke Erschütterungen und Lärmbelästigung. Der maximale Durchmesser der Verdrängungspfähle beträgt 0,70 m.

Bohrpfähle sind dadurch gekennzeichnet, dass ein Rohr in den Untergrund abgeteuft und der Pfahl an Ort und Stelle gegen den anstehenden Boden betoniert wird. Im Punkt 3.4.3 wird die Herstellung der Bohrpfähle detailliert beschrieben.

Mikropfähle verfügen über einen Durchmesser zwischen 0,04 m und 0,25 m. Sie werden vorwiegend als Verpreßpfähle hergestellt und bestehen im Prinzip aus einem durchgehenden Stahlglied, das bei Bedarf gestoßen werden kann. Die Mikropfähle werden als Gründungssanierung und Fundamentverstärkung und auch bei schweren Bohrhindernissen verwendet. Die Herstellung ist lärm- und erschütterungsarm.

<sup>14</sup> MAYBAUM 2009, S. 263.

### 3.2 Anwendungsgebiete<sup>15,16,17</sup>

Pfähle verfügen über einen vielfältigen Anwendungsbereich. Sie eignen sich sowohl für temporäre als auch permanente Zwecke. Ihre Hauptanwendung liegt auf dem Gebiet der Baugrubensicherung. Sie werden auch eingesetzt als:

- Baugrubenumschließungen bei hohen Anforderungen an die Steifigkeit;
- Baugrubenumschließungen im innenstädtischen Bereich, z. B. wo im Einflussbereich der Verbaumaßnahme Gebäude oder sonstige setzungsempfindliche Bauteile zu sichern sind;
- Sicherung von Baugruben und Schächten (statisch horizontal und/oder vertikal belastete Wand) und Sicherung bestehender Gebäude;
- Bestandteil des endgültigen Bauwerks im U-Bahnbau oder bei Tiefgaragen (siehe Abb. 14d);
- Tiefgründungen von Brückenfundamenten;
- Böschungssicherung (siehe Abb. 14f) - zur Erhöhung der Standsicherheit dienen die Pfahlwände als Stützwände;
- Ufersicherung (siehe Abb. 14e) - überschnittene Pfahlwände werden auch als Dichtwand genutzt. Hierfür müssen sie bis zur künstlichen Dichtsohle reichen oder in einen natürlichen Stauer einbinden;
- Gründungselement zum Abtragen vertikaler Bauwerkslasten - bei nicht ausreichend tragfähigem Baugrund werden Pfähle als Gründungselemente eingesetzt, die in der Lage sind, hohe Bauwerkslasten in tiefere tragfähige Bodenschichten einzuleiten. Die Lasteinleitung erfolgt über Spitzenpressung unter der Pfahlsohle und über Mantelreibung entlang der Mantelfläche;
- Gründungselement für Stützwände (siehe Abb. 14g) - wenn nicht genügend Platz für die Herstellung von Flachfundamenten zur Verfügung steht.

---

<sup>15</sup> Homepage: [www.bilfingerberger.at](http://www.bilfingerberger.at) 2009.

<sup>16</sup> BRANDL 2006.

<sup>17</sup> JODL 2008.

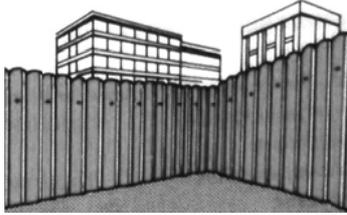
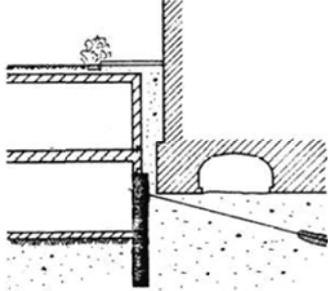
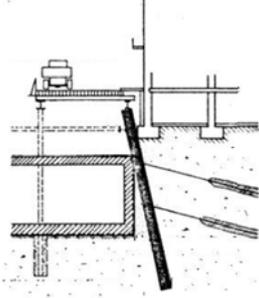
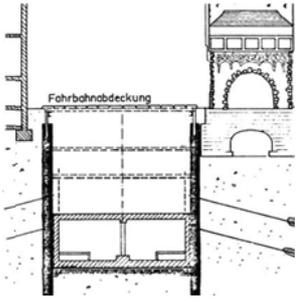
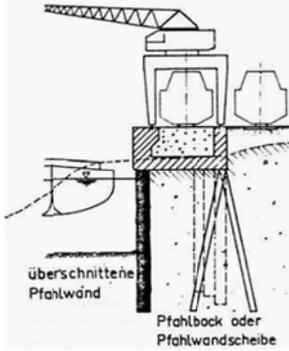
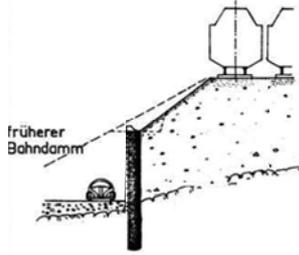
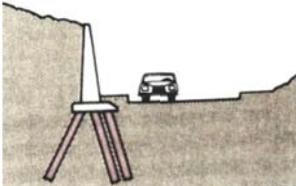
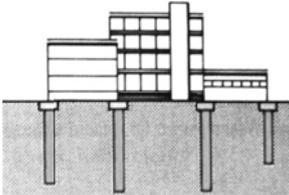
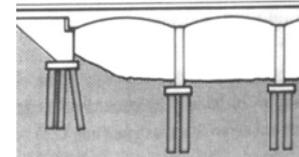
		
a) Verbauwand	b) Sicherungswand	c) Schräge Pfahlwand
		
d) Haussicherungswände für eine U-Bahnstation	e) Ufersicherung	f) Stützmauer gegen Bahndamm
		
g) Gründungselement für Stützmauer	h) Gründungselement für Bauwerk	i) Gründungselement für Brückenbau

Abb. 14: Anwendungsbeispiele<sup>18,19</sup>

### 3.3 Vor- und Nachteile

Vorteile von Pfählen sind:

- anwendbar bei verschiedensten Bodenverhältnissen (außer Fels);
- Übernehmung von großen Biegemomente;
- minimale Bodenbewegungen hinter der Wand;
- verformungsarm – bei Rückverankerung 1 bis 2 ‰ Horizontalverformung, bezogen auf die freie Wandhöhe;
- wirtschaftlich – falls die Pfahlwände als Bauwerksbestandteil einbezogen werden;

<sup>18</sup> GIRSCH 2004, S. 25/3.

<sup>19</sup> BRANDL 2006, S. 116/3.

- platzsparend – können unmittelbar vor Bauwerke herangebaut werden, für Unterfangungen auch darunter;
- wasserdicht – nur bei überschrittener Pfahlwand;
- Minimierung des Aushubes nur auf die Kubatur des tragenden Baukörpers;
- Herstellung in Tiefen über 50 m;
- große Durchmesser (> 2,50 m) sind möglich;
- geneigte Herstellung möglich.

Nachteile von Bohrpfählen sind:

- nicht wiederverwendbar;
- teuer;
- viele Fugen sind Schwachstellen für möglichen Wassereintritt bei aufgelösten und tangierenden Pfahlwänden;
- die durchteuften Schichten werden in der Nähe des Vortreibrohres aufgelockert;
- beim Ziehen der Verrohrung kann die frische Betonsäule unterbrochen oder die Bewehrung nach oben gezogen werden;
- Oberflächenstruktur der Pfähle hängt stark von den durchteuften Bodenschichten ab und kann dadurch großen Unregelmäßigkeiten aufweisen;
- Undichtheit der Wand wird durch nicht maßgenauen Aushub oder Mängel beim Betonieren verursacht;
- schwierige Entsorgung der verbrauchten Stützflüssigkeit bei suspensiongestützten Bohrungen.

### 3.4 Verfahrenstechnik des Bohrpfahls

Bohrpfähle sind Ortbetonpfähle und meistens bewehrt. Es wird eine verrohrte oder unverrohrte Bohrung abgeteuft, ein Bewehrungskorb eingebaut und das Bohrloch mit Beton gefüllt. Der Durchmesser eines Pfahls schwankt zwischen 0,30 m und 3,00 m. Die Länge beträgt in Abhängigkeit von der gewählten Herstellungstechnologie in Sonderfällen bis zu 100 m.

#### 3.4.1 Arbeitsablauf

Die Arbeitsabläufe bei der Herstellung eines verrohrten und eines unverrohrten Bohrpfahles ohne und mit Stützflüssigkeit sind schematisch in der Abb. 15, Abb. 16 und Abb. 17 dargestellt.

Arbeitsablauf einer verrohrten Bohrpfahlherstellung:

- Voraushub – je nach Bodenart und Tiefe wird eine senkrechte (verbaute) oder geböschte Grabenwand hergestellt. Der Böschungswinkel sollte nach DIN 4124 in Abhängigkeit der Bodenarten geplant werden;
- Herstellen der Bohrschablonen;
- Abteufen des Bohrrohres (1) – das Einbringen der Rohre kann durch Rütteln, Oszillieren, Drehen oder Drücken erfolgen;
- Lösen und Ausheben des Bohrgutes (2) – erfolgt durch Bohreimer, Bohrgreifer oder Bohrschnecke;
- Einbau der Bewehrung (3);
- Betonieren (4) – erfolgt bei gleichzeitigem Ziehen der Rohre durch hin- und herdrehende Bewegung;
- Abspitzen des Pfahlkopfes (5).

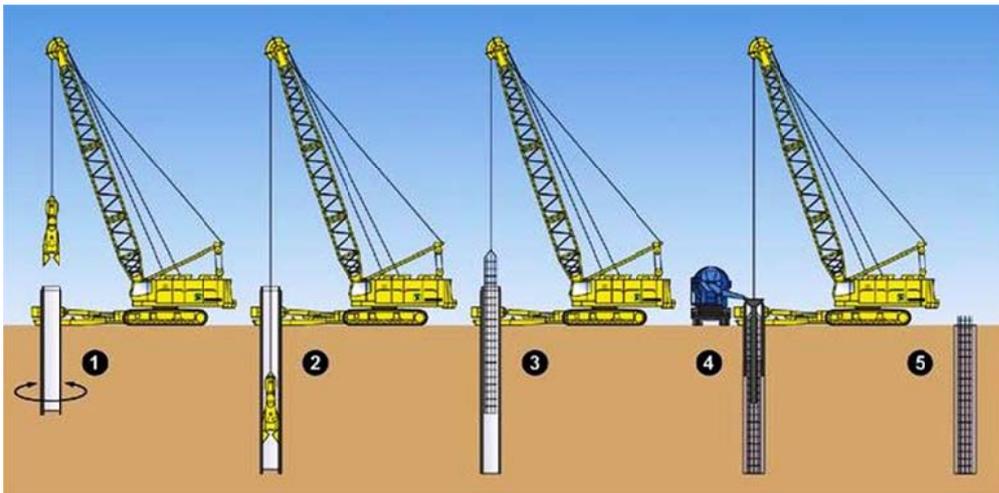


Abb. 15: Herstellung eines verrohrten Bohrpfahles<sup>20</sup>

Arbeitsablauf einer unverrohrten Bohrpfahlherstellung ohne Stützflüssigkeit:

- Voraushub;
- Herstellen der Bohrschablonen;
- Lösen und Ausheben des Bohrgutes (1), (2) – erfolgt durch Bohrschnecke;
- Betonieren (3) – erfolgt bei gleichzeitigem Ziehen der Schnecke;
- Einbau der Bewehrung (4);
- Abspitzen des Pfahlkopfes (5).

<sup>20</sup> Firmenprospekt: Brueckner Grundbau GmbH 2007

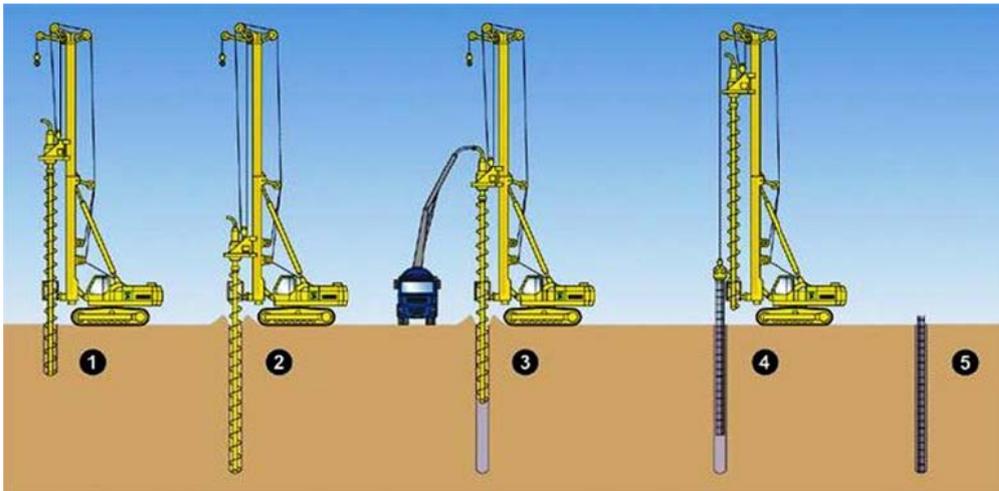


Abb. 16: Herstellung eines unverrohrten Bohrpfahles ohne Stützflüssigkeit<sup>21</sup>

Arbeitsablauf einer unverrohrten Bohrpfahlherstellung mit Stützflüssigkeit:

- Voraushub;
- Herstellen der Bohrschablonen;
- Lösen und Ausheben des Bohrgutes (1), (2) – erfolgt durch Greifer im Schutz der Stützflüssigkeit.;
- Einbau der Bewehrung (3);
- Betonieren (4) – erfolgt bei gleichzeitigem Verdrängen der Stützflüssigkeit;
- Abspitzen des Pfahlkopfes (5).

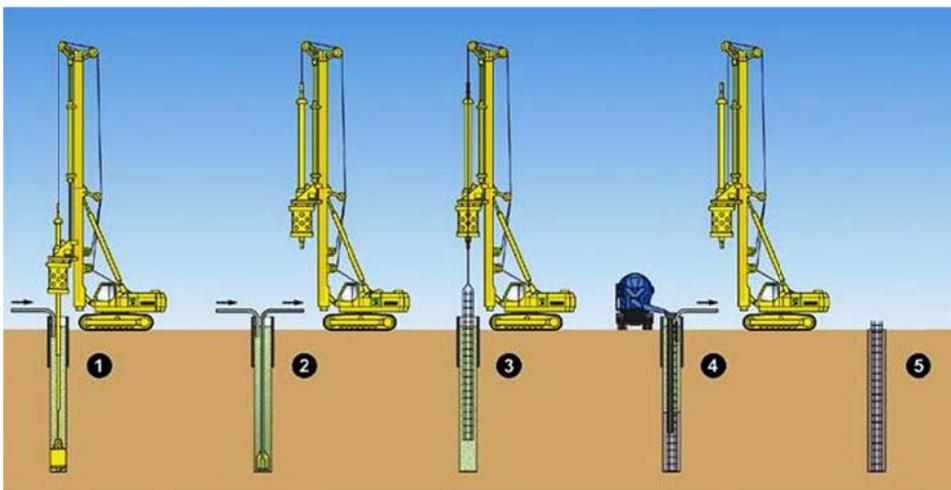


Abb. 17: Herstellung eines unverrohrten Bohrpfahles mit Stützflüssigkeit<sup>22</sup>

<sup>21</sup> Firmenprospekt: Brueckner Grundbau GmbH 2007

<sup>22</sup> Vgl. ebenda.

### 3.4.2 Bohrschablonen

Vor dem Beginn der Bohrarbeit werden die Bohrschablonen hergestellt. Sie werden aus Stahlbeton an Ort und Stelle oder mit Fertigteilen ausgeführt und weisen eine Höhe von etwa 0,30 m auf. Je nach dem Pfahlwandtyp gibt es verschiedene Möglichkeiten für die Gestaltung der Bohrschablonen (siehe Abb. 18).

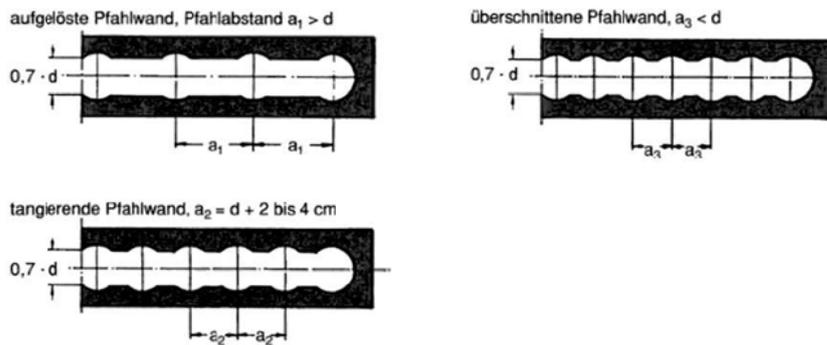


Abb. 18: Bohrschablonen für Pfahlwände<sup>23</sup>

Die bewehrten Schablonen werden in Höhe des Bohrplanums betoniert. Außer der Längsbewehrung werden in regelmäßigen Abständen Querbewehrungsstäbe angeordnet, die die beiden Schablonenhälften zugfest miteinander verbinden.

Mit Hilfe der Bohrschablonen wird ein genaues Ansetzen und Führen der Bohrröhre während der ersten Bohrmeter ermöglicht.

Während des Abbohrens und Ziehens der Bohrröhre hat die Bohrschablone hohe Beanspruchungen aus der Verrohrungsmaschine aufzunehmen, welche unmittelbar auf der Bohrschablone steht. Der Untergrund muss entsprechend tragfähig und die Bohrschablone stabil ausgebildet sein.<sup>24</sup>

Nach Beendigung der Pfahlarbeiten werden die Schablonen abgebrochen.

### 3.4.3 Bohrlochherstellung

Das Bohrloch für den Bohrpfahl wird mit verschiedenen Verfahren abgeteuft – verrohrt oder unverrohrt (durch Bentonitsuspension gestützt oder ungestützt). Das Bohrgut wird aus dem Bohrröhr intermittierend (z. B. mit Greifer) oder kontinuierlich (z. B. mit Bohrschnecke) gefördert.

<sup>23</sup> JODL 2008, S. 2/31.

<sup>24</sup> SEITZ 2000, S.276.

Die verschiedenen Bauverfahren für die Herstellung eines Bohrpfahles (siehe Abb. 19) unterscheiden sich hinsichtlich der Bohrart, der Sicherung und der Art des Betonierens.

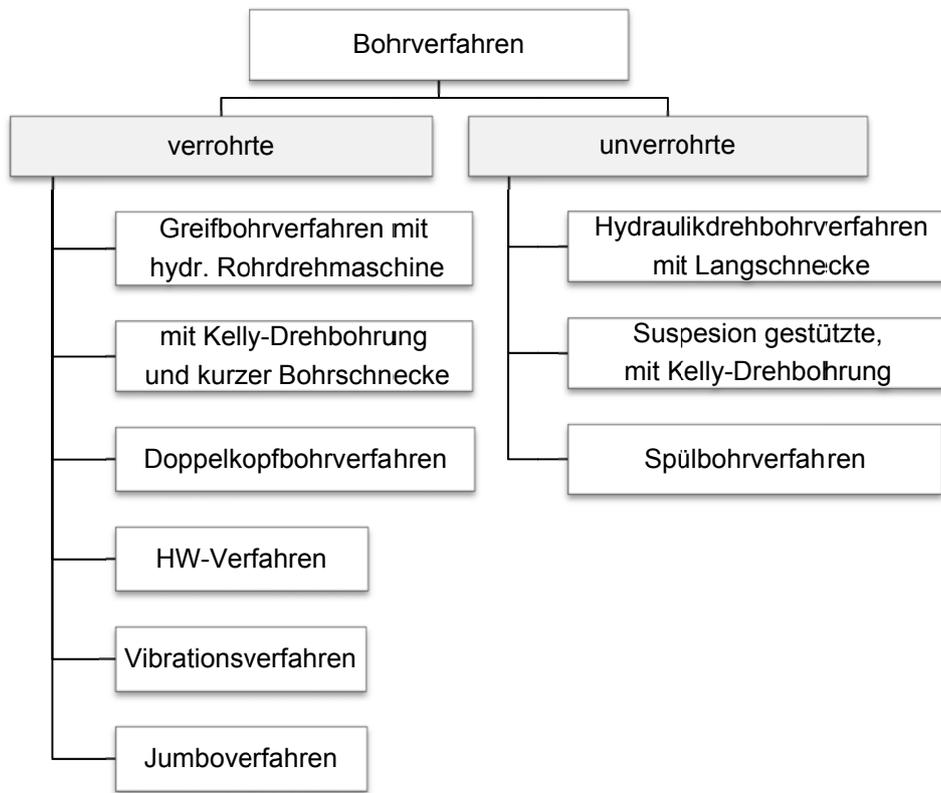


Abb. 19: Bohrverfahren

### 3.4.3.1 Verrohrte Pfahlherstellung

Im verrohrten Bohrverfahren wird die Richtungsgenauigkeit der Bohrungen mittels möglichst steifer Verrohrung gewährleistet. Aufgabe der Verrohrung ist es, die Auflockerungen in der Umgebung des Bohrpfahles einzuschränken, den seitlich anstehenden Boden zu stützen und zu verhindern, dass das Bohrloch einbricht. Um den Spitzenwiderstand an der Rohrschneide und die Reibung zwischen Rohr und Erdreich zu überwinden, wird während des Abbohrens das Bohrrohr hin und her gedreht. Die Verrohrung wird aus mehreren Schüssen zusammengesetzt und am häufigsten durch eine oszillierende, hydraulisch angetriebene Verrohrungsmaschine abgeteuft. Das zuerst eingebrachte Rohr ist am unteren Ende mit einem Schneidschuh aus gehärtetem Sonderstahl ausgerüstet. Das Schema eines Bohrrohres und eines Schuhs ist in Abb. 20 angegeben.

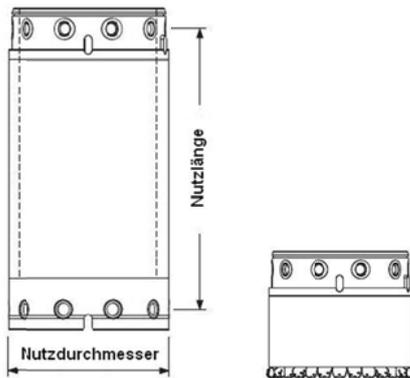


Abb. 20: Bohrrohr und Schneid Schuh<sup>25</sup>

Der Durchmesser und die Länge des Rohres hängen von dem gewählten Herstellverfahren ab. Die verwendeten Rohre haben Wanddicken von 32 mm bis 50 mm.<sup>26</sup>

- Greiferbohrverfahren mit hydraulischer Rohrdrehmaschine<sup>27</sup> (siehe Abb. 21)

Das Bohrrohr wird mit Hilfe einer Verrohrungsmaschine in den Boden oszillierend eingedreht und eingedrückt. Gleichzeitig wird der Boden im Rohr mittels Greifer oder Meißel diskontinuierlich gelöst und ausgehoben. Der Bodenaushub soll die Unterkante des Bohrrohres nicht überschreitet, um Auflockerungen im umgebenden Boden zu vermeiden. Das Bohrrohr stützt die Bohrlochwand und nach dem Erreichen der Sohltiefe wird der Bewehrungskorb eingehoben. Das Betonieren wird mit gleichzeitigem Ziehen des Bohrrohres ausgeführt.

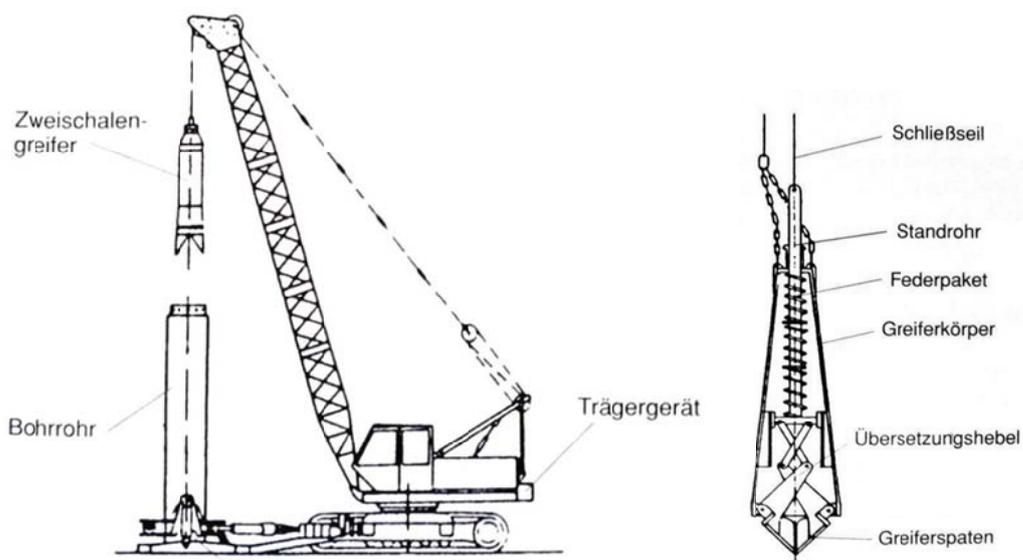


Abb. 21: Hydraulische Verrohrungsmaschine und Zweiseilgreifer<sup>28</sup>

<sup>25</sup> Firmenprospekt: Liebherr International Deutschland GmbH 2008.

<sup>26</sup> SEITZ 2000, S. 217.

<sup>27</sup> Ebenda, S. 141.

<sup>28</sup> Ebenda, S. 142, 225.

- Mit Kelly-Drehbohrung und kurzer Bohrschnecke (siehe Abb. 22)

Die Bodenförderung erfolgt im Kellybohrverfahren. Das Bohrloch wird diskontinuierlich ausgehoben.

Als Bohrgestänge wird die sogenannte „Kellystange“ verwendet. Die Kellystange ist eine profilierte, mehrfach teleskopierbare Bohrstange, mit der die Drehbewegung eines Bohrantriebes auf das Bohrwerkzeug übertragen wird. Der Bohrantrieb ist auf einem Drehbohr Tisch angebracht, der wiederum auf einem Mäkler vertikal verschiebbar montiert ist.<sup>29</sup>

Die Bohrröhre können direkt mit dem Bohrantrieb eingedreht werden und werden miteinander kraft- und formschlüssig verbunden. Bei größeren erforderlichen Leistungen ist zusätzlich eine hydraulisch betriebene Verrohrungsmaschine erforderlich.

Mit Vorschub und Bohrantrieb wird das Bohrwerkzeug (Bohrschnecke oder Bohreimer, siehe Abb. 12), das an der Kellystange montiert ist, eingedreht und füllt sich dabei mit Bodenmaterial. Anschließend wird das Bohrwerkzeug zusammen mit der Kellystange wieder nach oben gezogen und der ausgebohrte Boden entleert. Dieser Vorgang wird wiederholt, bis die geplante Bohrtiefe erreicht ist.

Um die Auflockerungen zu verhindern, muss die Verrohrung dem Aushub voreilen.

Unmittelbar nach dem Abschluss der Bohrlochherstellung und dem Einsetzen des Bewehrungskorbes, ist der Pfahl zu betonieren. Beim Betonieren wird gleichzeitig der Rohr oszillierend gedreht und nach oben gezogen.

---

<sup>29</sup> HUDELMAIER 2009, S. 4.

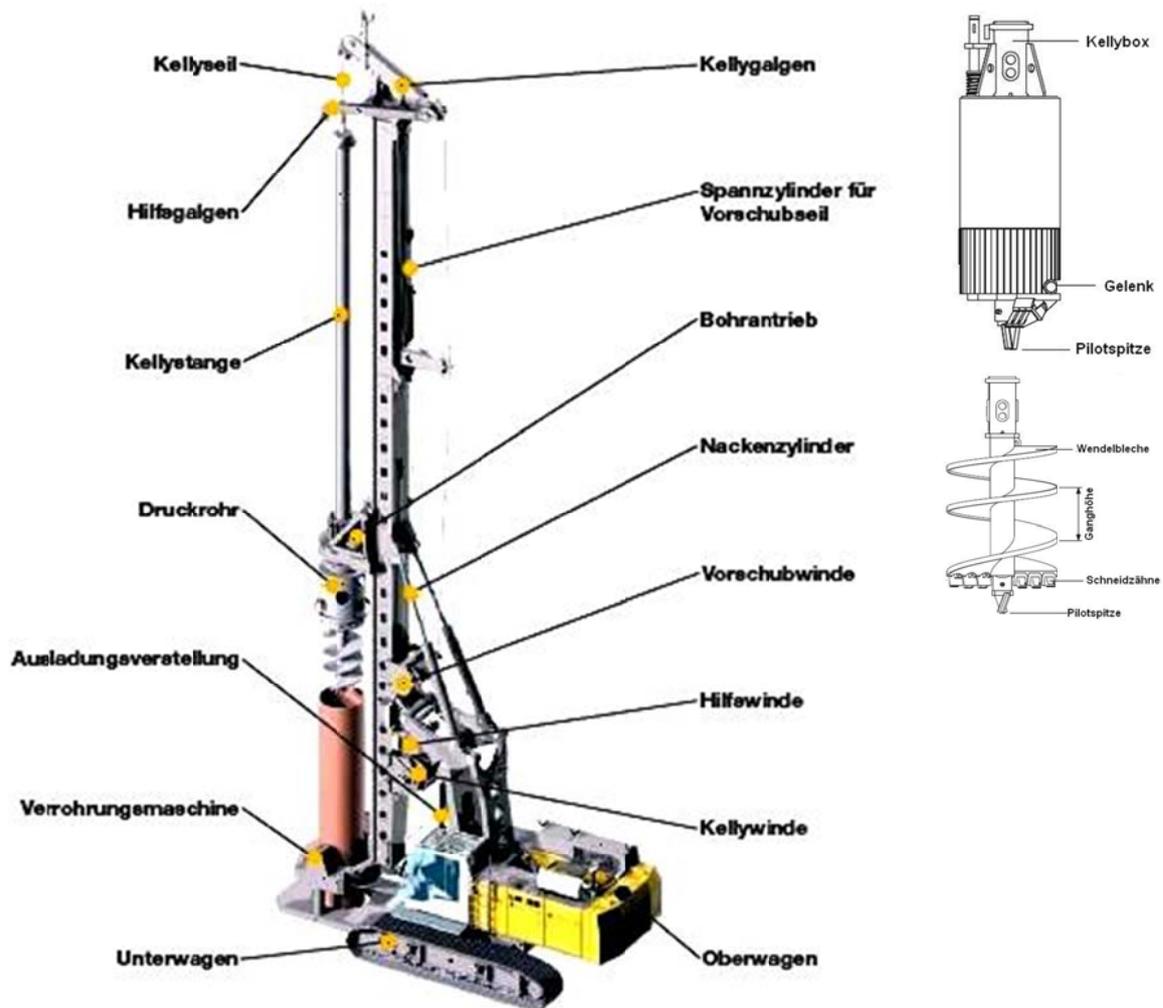


Abb. 22: Drehbohranlage für Arbeiten mit der kurzen Bohrschnecke<sup>30</sup>

- Doppelkopfbohrverfahren (siehe Abb. 23)

Eine Aussenverrohrung und eine innenlaufende Bohrschnecke werden durch zwei unabhängige, miteinander gekoppelte Bohrantriebe gegenläufig angetrieben. Die Aussenverrohrung stützt den Boden, die Bohrschnecke fördert das Bohrgut innerhalb der Verrohrung nach oben. Das Arbeitsprinzip einer langen Bohrschnecke wird im Punkt 3.4.3.2 beschrieben. Der Beton wird mit Hilfe einer Betonpumpe über das Seelenrohr der Bohrschnecke im Stutze der Verrohrung bis zur Bohrlochsohle eingebracht. Bei gleichzeitigem Ziehen der Verrohrung und der Bohrschnecke wird Beton eingepumpt.

Der Bewehrungskorb kann entweder in die flüssige Betonsäule eingebaut werden oder vor dem Betonieren im Schutz der Verrohrung eingebracht werden.

<sup>30</sup> Firmenprospekt: Liebherr International Deutschland GmbH 2008.



Abb. 23: Doppelkopfbohrverfahren<sup>31</sup>

- HW-Verfahren (siehe Abb. 24)

Das Verfahren trägt die Namen seinen Erfindern Hochstrasser und Weise. Das Vorbohrrohr als Führung für das Bohrrohr wird eingerammt und ausgegreifert. Das Bohrrohr wird in ganzer Länge in einem Stück eingesetzt. Das Absenken erfolgt durch eine pneumatisch oder hydraulisch angetriebene Drehschwinge, welche am Bohrkopf montiert wird.

Beim HW-Verfahren werden keine Reaktionskräfte vom Bohrrohr aus den Bohrbagger übertragen. Daraus folgt dass der Bohrbagger freibeweglich neben der Pfahlbohrung arbeiten kann.<sup>32</sup>

<sup>31</sup> Firmenprospekt: Liebherr International Deutschland GmbH 2008.

<sup>32</sup> BALDAUF 1988, S. 175.

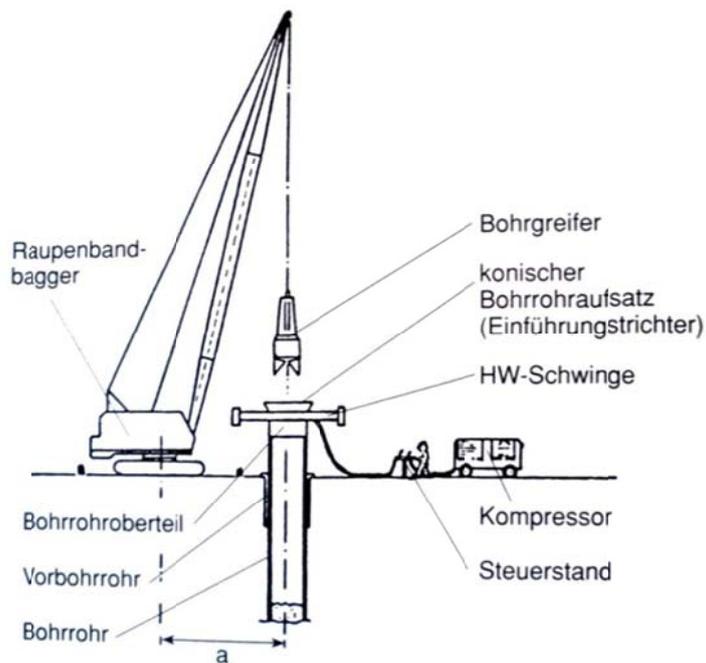


Abb. 24: HW-Verfahren<sup>33</sup>

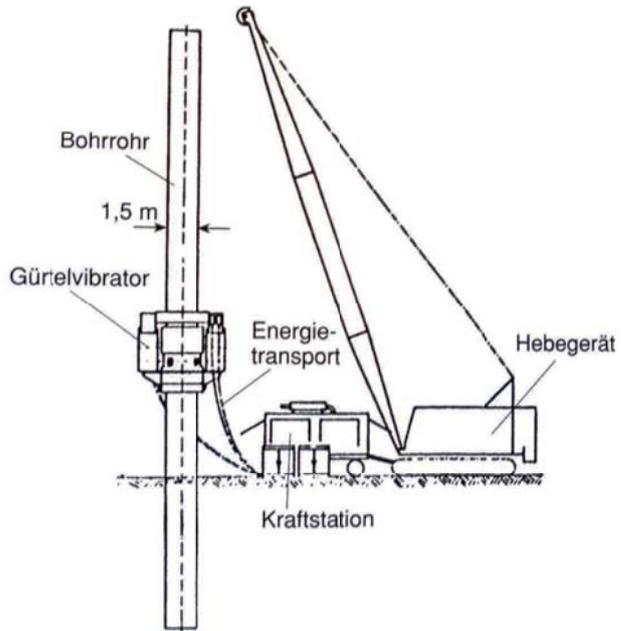
- Vibrationsverfahren (siehe Abb. 25)

Das Einbringen von Bohrrohren erfolgt mittels Vibrationsbären, die an einem Hebegerät (Bagger) montiert sind. Die Schwingungen werden mechanisch durch umlaufende Exzentermassen erzeugt. Auf das Hebegerät treten keine Rückwirkungen auf, da sich die Schwingungskräfte innerhalb des Schwingungssystem Vibrationsbär – Rammkörper gegenseitig aufheben.

Das Prinzip des Verfahrens besteht in der Reduzierung der Reibung zwischen dem Bohrrohr und dem Boden. Das Bohrgut wird während des Abteufens des Bohrrohres mit der Hilfe eines Greifers gefördert. Nach dem Erreichen der Endtiefe erfolgt der Betonierbau und direkt im Anschluss das Ziehen des Bohrrohres.

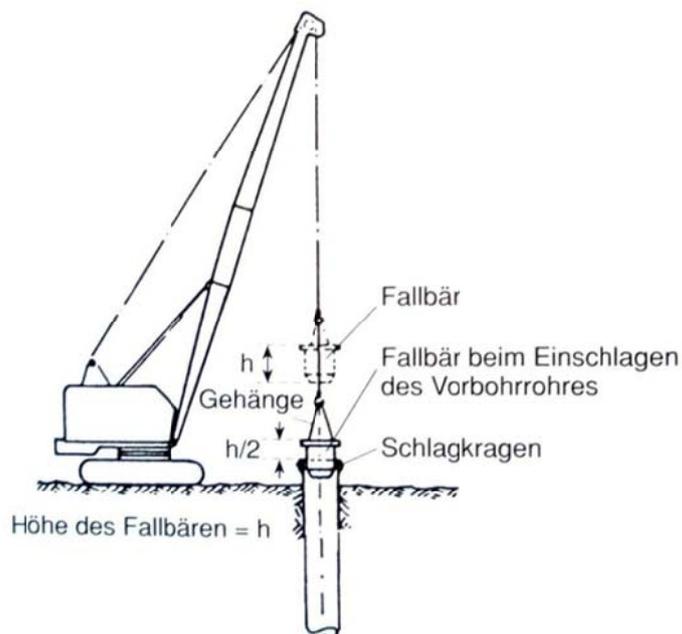
Bei Arbeiten unmittelbar neben Bauwerke können beim Vibrationsverfahren Schwingungen im Boden und an Gebäudefundamenten auftreten. Bei bestimmten Frequenzen kann es dabei zu leichten Schäden kommen.

<sup>33</sup> SEITZ 2000, S. 168.

Abb. 25: Vibrationsverfahren<sup>34</sup>

- Jumbo-Verfahren (siehe Abb. 26)

Das Bohrrohr wird mittels Fallbären eingeschlagen, wodurch sehr große Erschütterungen auftreten. Der Bodenaushub erfolgt mit einem Greifer. Die wirtschaftlichen Pfahllängen sind von den Bodenverhältnissen und dem Bohrrohrdurchmesser abhängig.

Abb. 26: Jumbo-Verfahren<sup>35</sup>

<sup>34</sup> SEITZ 2000, S. 173.

<sup>35</sup> Ebenda, S. 172.

### 3.4.3.2 Unverrohrte Pfahlherstellung

- Hydraulikdrehebohrverfahren mit Langschnecke (siehe Abb. 27)

Die Bohrschnecke wird fest an dem Bohrantrieb montiert und das Drehmoment und die Vorschubkraft werden direkt auf die Bohrschnecke übertragen. Die durchgehende Bohrschnecke wird in einem Stück bis zur Endtiefe in den Untergrund eingedreht, wodurch die Stützung der Bohrlochwand durch die mit Boden gefüllte Bohrschnecke erfolgt. Das Bohrgut wird kontinuierlich gefördert, wobei die geförderte Menge abhängig von dem Durchmesser des Zentralrohres, der Verdrängungsfähigkeit des Bodens und der Kontinuität der Bohrgeschwindigkeit ist.

Die erreichbare Bohrtiefe wird durch die Länge des Mäklers und die Bauhöhe des Bohrantriebes bestimmt. Über die ganze Länge der Bohrschnecke muss die Ganghöhe gleich groß sein.

Nach Erreichen der Endtiefe wird beim Ziehen der Bohrschnecke über das Seelenrohr Beton eingepumpt. Um während des Bohrens einen Eintritt von Boden und Wasser zu verhindern, wird das Seelenrohr unten verschlossen.

Bei Verwendung von einem kleinen Seelenrohr (nach DIN 4014: Durchmesser kleiner 55% des Schneckendurchmessers) wird in der Regel ein unbewehrter Pfahl oder ein Pfahl mit nur Kopfbewehrung hergestellt. Falls eine durchgehende Bewehrung erforderlich ist, kann der Bewehrungskorb unmittelbar nach der Betonierung eingedrückt oder eingerüttelt werden.

Bei Verwendung von einem großen Seelenrohr (nach DIN 4014: Durchmesser größer 55% des Bohrdurchmessers) wird der Bewehrungskorb in das Seelenrohr eingestellt und sofort Beton mit breiiger Konsistenz durch das Seelenrohr der Bohrschnecke gepumpt.

Aufgrund des raschen Kontaktes Beton – Boden ist die Tragfähigkeit der Pfähle höher als bei verrohrten Pfählen.



Abb. 27: Unverrohrte Hydraulikverfahren mit Langschnecke<sup>36</sup>

<sup>36</sup> Firmenprospekt: Liebherr International Deutschland GmbH 2008.

- Spülbohrverfahren (siehe Abb. 28)

Der Boden wird mittels Schneidwerkzeuge nur gelöst und anschließend durch einen Spülstrom gefördert. Die Flüssigkeitsspülung dient als Fördermittel für das Bohrgut und als Stützflüssigkeit für das Bohrloch. Als Spülflüssigkeit wird Wasser, dem Tonmehl beigemischt wird, oder ein Luft-Wasser-Gemisch verwendet.

Das Verfahren kommt dann zum Einsatz, wenn die erforderliche Endtiefe mit anderen Bohrverfahren nicht erreichen werden kann. Nach der Förderrichtung der Pumpe werden folgende Verfahren unterteilt: direkte und indirekte Spülbohrverfahren.

Im Direkt-Spülbohrverfahren<sup>37</sup> (Rotaryverfahren) wird die Spülflüssigkeit durch das Bohrgestänge in das Bohrloch hineingepumpt. Das Spülgut steigt im engen Ringraum zwischen Aufsteckrohr und Bohrlochwand nach oben. Als rotierende Schneidwerkzeuge dienen Flügelmeißel oder Rollenmeißel. Dieses Verfahren ist jedoch nur für kleine Durchmesser geeignet.

Zu den Indirekt-Spülbohrverfahren gehören Saug- und Lufthebebohrverfahren.

Die Förderung des Wasser-Feststoff-Gemisches erfolgt beim Saugbohrverfahren über eine Saugpumpe und beim Lufthebeverfahren durch ein „Hochdrücken“ von unten nach oben.

Beim Saugbohrverfahren wird die Spülung mit dem Bohrgut mittels einer Saugpumpe durch das hohle Bohrgestänge gesaugt. Die Fließbewegung entsteht durch den Atmosphärendruck auf den freien Bohrlochwasserspiegel zwischen Standrohr und Gestänge.

Beim Lufthebebohrverfahren wird eine relativ kleine Luftmenge von unten in das Bohrgestänge eingeblasen. Der Differenzdruck zwischen dem Flüssigkeits-Luft-Gemisch und der umgebenden Flüssigkeit bestimmt die Saugwirkung am Gestängeende.

---

<sup>37</sup> SEITZ 2000, S. 157.

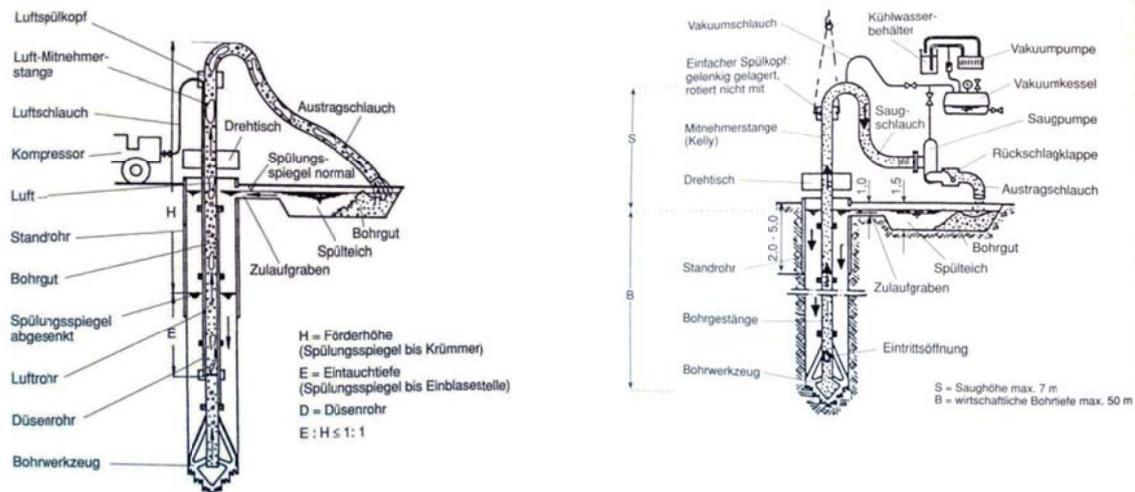


Abb. 28: Schema des Lufthebe- und Saugbohrverfahrens<sup>38</sup>

- Durch Suspension gestützte Bohrpfahlherstellung mit Kelly-Drehbohrung

Die Bohrlochwand wird durch Flüssigkeitsüberdruck gestützt. Als Stützflüssigkeit wird meistens Bentonitsuspension verwendet. Während des Bohr- und Betoniervorganges darf der Spiegel der Suspension zu keinem Zeitpunkt bis zur Unterkante der Schutzverrohrung sinken. Nach Erreichen der Endtiefe wird die Bewehrung eingebaut und die Betonierung erfolgt im Kontraktorverfahren.

Stützflüssigkeit: Sie gewährleistet die Stützung der Bohrlochwand. Während des Bohrvorganges wird der Flüssigkeitsspiegel im Bohrloch ständig höher als der natürliche GWS im Boden gehalten. Durch den höheren Innendruck wird die Bohrung stabilisiert.

Man verwendet als Stützflüssigkeit Wasser, Tonsuspension oder Polymerflüssigkeiten:

- Wasser – es können nicht standfeste Feinsande oder Schluffe bei einem Wasserüberdruck von mehr als 2 m stabilisiert werden. Das Wasser steht unter Überdruck im Bohrloch und fließt durch die Bohrlochwand in die Umgebung ab. Der Strömungsdruck hindert das Bodenmaterial in die Bohrung zu fallen.
- Polymere Flüssigkeiten sind in Wasser gelöste, langkettige Moleküle, die durch ihre netzartige Struktur Feinteile in Schwebelage halten. Der Vorteil liegt in der Unempfindlichkeit gegenüber Zement und der einfacheren Trennung von Boden und Suspension.
- Tonsuspension – es können grobkörnige Böden wie Sande und Kiessande stabilisiert werden. Die unter Überdruck stehende Suspension dringt in den anstehenden Boden

<sup>38</sup> SEITZ 2000, S. 161,166.

ein und bildet eine undurchlässige Membrane, den so genannten Filterkuchen (siehe Abb. 29). Die Membrane stützt die Bohrlochwand und verhindert das Hineinfallen von Bodenkörnern.

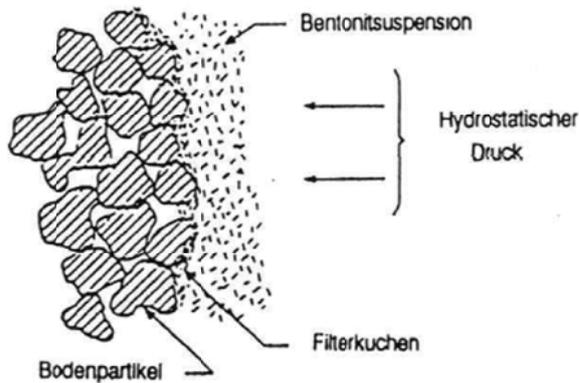


Abb. 29: Bildung des Filterkuchens<sup>39</sup>

Die verwendeten Tone zeigen in Verbindung mit Wasser ein starkes Quellverhalten. Diese Suspensionen können durch ihr thixotropes Verhalten Scherkräften aufnehmen und Bodenpartikel bis zu Korngrößen von 10 mm in Schwebe halten. Das thixotrope Verhalten ist dadurch gekennzeichnet, dass sich die Suspension beim Rühren wie eine Flüssigkeit verhält und in Ruhe eine feste Struktur bildet.

Die Herstellung, das Vorhalten und die Kontrolle von Bentonitsuspensionen sind in Übereinstimmung mit der ÖNORM EN 1538, der DIN 4126 und der DIN 4127 durchzuführen.

Hauptbestandteil und maßgebend für die mechanischen Eigenschaften der Bentonitsuspension ist das Dreischichtenmineral Montmorillonit. Bentonit enthält zusätzlich noch Quarz, Glimmer, Feldspat, Pyrit und Kalk als Begleitminerale.

Bei der Herstellung suspensionsgestützter Bohrpfähle sind die Scherfestigkeit, das Fließ- und Filtrationsverhalten sowie die Dichte der stützenden Flüssigkeiten von Bedeutung. Die Scherfestigkeit ( $\tau = 0 - 150 \text{ N/m}^2$ ) bestimmt die Stützwirkung und das Eindringverhalten. Das Fließverhalten beeinflusst die Verarbeitbarkeit, die Verdrängbarkeit durch den Beton, die Pumpbarkeit und das Eindringverhalten. Das Filtrationsverhalten beeinflusst die Stabilität und das Eindringverhalten. Die Dichte der Suspension bestimmt die Größe des hydrostatischen Drucks und die Verdrängbarkeit durch den Beton. Die Dichte liegt im Regelfall bei 1,03 bis 1,05 t/m<sup>3</sup>. Durch Verunreinigung während des Aushubs kann die Dichte bis auf 1,30 t/m<sup>3</sup> ansteigen.<sup>40</sup>

<sup>39</sup> JODL 2008, S. 1/22.

<sup>40</sup> MAYBAUM 2009, S. 308.

Die Eigenschaften der Bentonitsuspension sind von der Temperatur und Chemismus des Wassers, der Art des Bentonits, der Dauer des Mischverfahrens, den physikalischen Eigenschaften der Suspension und chemischen Additiven abhängig.

Während des Betonierens wird die verunreinigte Suspension abgepumpt und in speziellen Anlagen regeneriert (Trennung der Bentonitsuspension von Sand und feinem Boden).

### 3.4.3.3 Übersicht über die Einsatzbereiche verschiedener Bohrverfahren

Die Tabelle 2 gibt einen Überblick über die Einsatzbereiche der zuvor beschriebenen Bohrverfahren.

Bohrverfahren		Einsatzbereich		
		max. D	max.Tiefe	Baugrund
Verrohrte	Greiferbohrverfahren mit hydr. Rohrdrehmaschine	3,0 m	50,0 m	in allen Böden, außer Fels
	mit Kelly-Drehbohrung und kurzer Bohrschnecke	2,0 m	40,0 m	wechselnde Bodenschichten, nicht standfest, auch mit Hindernisse, GW
	Doppelkopfbohrverfahren	1,2 m	18,0 m	in allen Böden, außer Fels
	HW-Verfahren	2,0	20,0 m	fest bis locker gelagert, GW, Fels
	Vibrationsverfahren	3,6 m	60,0 m	vorzugsweise nichtbindige, wassergesättigte Böden
	Jumbo-Verfahren	2,0 m	8,0 m	standfeste bindige Böden
Unverrohrte	Hydraulikbohrverfahren mit Langschnecke	1,0 m	20,0 m	in allen Böden
	Suspension gestützte, mit Kelly-Drehbohrung	2,4 m	40,0 m	in allen Böden
	Spülbohrverfahren	2,0 m	100,0 m	leichte od. mittlere Felsböden

Tabelle 2: Einsatzbereich der Bohrverfahren<sup>41,42,43</sup>

<sup>41</sup> HUDELMAIER 2009.

<sup>42</sup> SEITZ 2000.

<sup>43</sup> JODL 2008.

### 3.4.4 Bewehrung

In Tabelle 3 sind die wichtigste Anforderungen an der Bewehrung nach ÖNORM EN 1536 angegeben.

Längsbewehrung		$A_s \geq 0,0025 \text{ m}^2$ , für $A_c = 0,5 - 1 \text{ m}^2$ ; min. 4 N 12;
Querbewehrung		$d_s \geq 6 \text{ mm}$ oder $d_s \geq \frac{d_L}{4}$ ; Ganghöhe $\leq 25 \text{ cm}$
Aussteifungs- ringe	Flach- eisen	$a \leq \frac{500 \times d_L}{4}$ , für $d_L \leq 20 \text{ mm}$ oder $a \leq \frac{600 \times d_L}{4}$ , für $d_L > 20 \text{ mm}$ ;
	Rund- eisen	$a \leq \frac{350 \times d_L}{4}$ , für $d_L \leq 20 \text{ mm}$ oder $a \leq \frac{400 \times d_L}{4}$ , für $d_L > 20 \text{ mm}$ ;
Abstandhalter		Symmetrische Anordnung; Min. 3 Stück je Querschnitt;
Betondeckung		$a_c = 50 \text{ mm}$ , für $D \leq 0,6 \text{ m}$ ; $a_c = 60 \text{ mm}$ , für $D > 0,6 \text{ m}$ ; $a_c = 75 \text{ mm}$ , in Ausnahmefällen.

Tabelle 3: Wichtigste Anforderungen an der Bewehrung nach ÖNORM EN 1536<sup>44</sup>

Der Bewehrungskorb ist so auszusteifen, dass er beim Transport, beim Einbau und beim Betonieren nicht verformt wird. Er besteht aus folgenden Einzelteilen:

- Längsbewehrung - Aufnehmen der Vertikalkräfte;
- Querbewehrung (Ringbewehrung oder Wendel) - Halten der Längsbewehrung in der vorgesehenen Lage und Verhinderung ihres Ausknickens, Aufnehmen der Schubspannungen, Verhinderung des Entstehens von Längsrissen und Verbesserung der Tragfähigkeit unter Drucklasten;
- Aussteifungsringe - Erleichtern der Montage der Längsbewehrung, Verbesserung der Steifigkeit des Bewehrungskorbes;
- Abstandhalter - Einhalten der mittigen Lage des Bewehrungskorbes im Bohrloch, Einhalten der erforderlichen Betondeckung;
- Bewehrung gegen Korbverformungen – Nadeln zum Einhalten des kreisförmigen Querschnittes und Längsaussteifungen zur Verhinderung des Verbiegens und Verdrehens des Bewehrungskorbes;
- Fußausbildung - Kein Einsinken der Längsstäbe in den Untergrund und Verhinderung des Herausziehens des Bewehrungskorbes.

<sup>44</sup> ÖNORM EN 1536, 1999.

Der Bewehrungskorb ist möglichst bald nach dem Reinigen des Bohrloches einzubauen. Bei unverrohrten Bohrungen wird der Bewehrungskorb nach dem Betonieren eingebracht. Aus diesem Grund müssen großflächige Abstandhalter verwendet werden. Zusätzlich ist ein Rüttelblech an zwei Aussteifungsringen stabil anzuschweißen um das nachträgliche Einbringen durch leichtes Rütteln unterstützen zu können.

Wenn Bewehrungskörbe mit Längen über 15 m eingebaut werden, werden einzelne, abgehängte Bewehrungskorbabschnitte (Schüsse) hergestellt, die nacheinander ins Bohrloch eingeführt, jedoch immer über dem Bohrloch gestoßen werden.

### 3.4.5 Betonieren<sup>45,46</sup>

Nach Abschluss des Bohrvorganges, Säubern der Bohrlochsohle und Einsetzen des Bewehrungskorbes werden die Pfähle betoniert.

Das Betonieren im Trockenen erfolgt mit Hilfe eines Trichters und eines Betonierrohres, welches vertikal in der Mitte des Bohrloches eingebracht wird (siehe Abb. 30). Während des Betoniervorganges muss die lotrechte Lage des Betonierrohres sichergestellt sein.

Es ist auch zu beachten, dass

- der Beton in der vorgesehenen Zusammensetzung und Konsistenz bis zur Bohrlochsohle gelangt;
- der Beton sich nicht entmischt oder verunreinigt wird;
- die Betonsäule weder unterbrochen noch eingeschnürt wird.

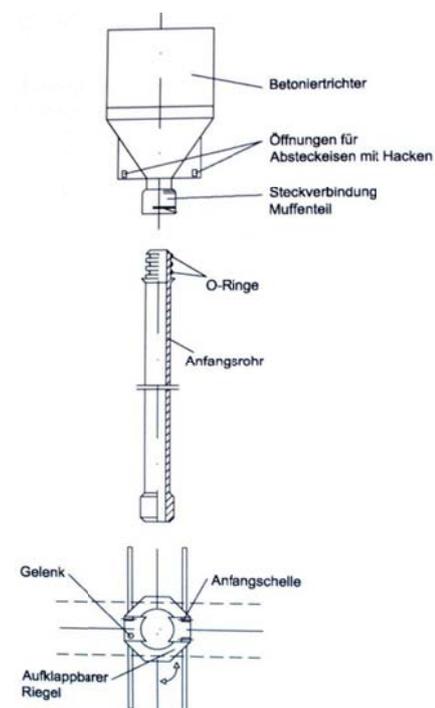


Abb. 30: Betonierrohr mit Trichter<sup>47</sup>

Im Grundwasser bzw. in einer Tonsuspension muss der Beton im Kontraktorverfahren eingebracht werden. Um ein Entmischen oder ein Verunreinigen des Betons durch die Flüssigkeit im Bohrloch zu verhindern ist der Beton stets über das Kontraktorrohr einzubringen. Das Kontraktorrohr soll zu Beginn des Betonierens bis zum Bohrlochsohle

<sup>45</sup> ÖNORM EN 1536, 1999.

<sup>46</sup> SEITZ 2000, S. 335 – 346.

<sup>47</sup> Ebenda, S. 338.

reichen und mindestens 1,5 m (bei Bohrpfählen mit Durchmessern  $\geq 1,2$  m, mindestens 2,5 m) in den Beton eintauchen. Das Prinzip des Kontraktorverfahrens ist in Abb. 21 angegeben.

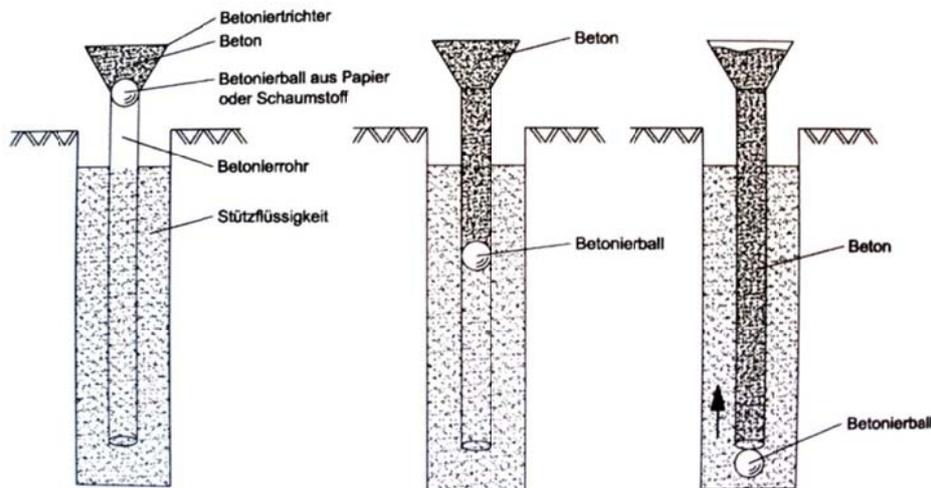


Abb. 31: Schema des Kontraktorverfahrens<sup>48</sup>

Das Ziehen einer vorübergehenden Verrohrung darf erst begonnen werden, wenn die Betonsäule in der Verrohrung ausreichend hoch und genügend Überdruck vorhanden ist,

- um das Eindringen von Wasser oder Boden am unteren Ende der Verrohrung zu vermeiden;
- um ein Anheben des Bewehrungskorbes zu verhindern.<sup>49</sup>

### 3.4.6 Nachbehandlung des Pfahlkopfes

Nach dem Betonieren ist der Pfahlkopf meist verunreinigt und der Beton weist nicht die geforderte Qualität auf. Deswegen wird der Pfahl um ca. 20 ÷ 40 cm über die Sollhöhe aufbetoniert und um dieses Maß anschließend abgespitzt.

Das Abspitzen<sup>50</sup> der Pfähle:

- darf erst vorgenommen werden, wenn der Beton ausreichend erhärtet ist;
- muss den verunreinigten oder mangelhaften Beton vollständig vom Pfahlkopf entfernen;
- ist so lange fortzusetzen, bis über den ganzen Querschnitt im gesunderen Beton freigelegt ist.

<sup>48</sup> JODL 2008, S. 2/30.

<sup>49</sup> ÖNORM EN 1536, 1999, S. 19.

<sup>50</sup> Vgl. ebenda.

Das Abspitzen erfolgt von Hand oder maschinell (mit Brechzangen). Dabei ist sicherzustellen, dass keine Risse im Beton aufgetreten und die Bewehrung nicht beschädigt wird.

Die Fa. BVV Spezialtiefbautechnik Vertriebs GmbH bietet eine Lösung für das maschinelle Abfräsen des Überbetons durch eine Pfahlkopffräse (siehe Abb. 32). Das Abfräsen des Betons mit diesem Gerät erfolgt außerhalb der Bewehrung ringförmig und innerhalb der Bewehrung zylindrisch. Der verbleibende Beton um die Bewehrung kann anschließend leicht mit einer Brechzangen oder von Hand abgebrochen werden.<sup>51</sup>



Abb. 32: Arbeitsweise beim Abfräsen mit Pfahlkopffräse<sup>52</sup>

Um eine bessere statische Wirkung der einzelnen Pfähle zu erreichen können die Pfahlköpfe mehrerer Pfähle durch einen nachträglich zu betonierenden Pfahlkopfbalken miteinander verbunden werden. Die minimale Balkenbreite entspricht dabei dem Pfahldurchmesser und die Höhe mindestens der halben Balkenbreite.

Der Kopfbalken kann bewehrt oder unbewehrt hergestellt werden und hat die Aufgabe,

- das Zusammenwirken von Einzelpfähle zu ermöglichen,
- Vertikal- und Horizontalbelastungen auf die Pfähle zu verteilen,
- Steifen- oder Ankerlasten gleichmäßig in die Pfähle einzuleiten,
- Ankerkopf-Aussparungen aufzunehmen.<sup>53</sup>

<sup>51</sup> HUDELMAIER 2009, S. A/23.

<sup>52</sup> Firmenprospekt: Liebherr International Deutschland GmbH 2008

<sup>53</sup> BALDAUF 1988, S. 181.

## 4 PROJEKTbeschreibung DES GEWÄHLTETEN BAULOSES

### 4.1 Allgemeine Daten

Die geplante Anbindung wird in einem zweigleisiger Rechteck-Tunnelquerschnitt ausgeführt. Der 3,5 km lange Tunnel wird in Blöcken von 10 m Länge hergestellt. Der Tunnel wird in offener Bauweise und in Deckelbauweise mit Pfahlwandsicherung ausgeführt. Die geplante U-Bahnverlängerung wird in drei Baulose unterteilt. Am Beginn und am Ende eines Bauloses befindet sich dabei immer ein Stationsbauwerk.

Im Zuge der vorliegenden Diplomarbeit wird das 1. Baulos einer genaueren Untersuchung hinsichtlich der Herstellungskosten unterzogen.

In der Tabelle 4 werden die verwendeten Bauweisen in jedem Baulos angegeben.

Abschnitt	Regelquerschnitt	Bauweise	Lage
1. Baulos - 920 m			
I	1.1	offene Bauweise	Tunnelstrecke
II	1.2		
III	2		Station
2. Baulos – 1.180 m			
IV	1.1	offene Bauweise	Tunnelstrecke
V	0	offene Bauweise ohne Verbauwände	
VI	1.1	offene Bauweise	
VII	1.3	Deckelbauweise	
VIII	2	offene Bauweise	Station
3. Baulos – 1.350 m			
IX	1.4	Deckelbauweise	Tunnelstrecke
X	1.3		
XI	2	offene Bauweise	Station

Tabelle 4: Übersicht über die drei Baulose

Wesentliche technische Daten der gesamten Trasse:

Tunnellänge: 3.450 m

Aushubtiefe: durchschn. 9,60 m

Erdarbeiten: ~ 542.000 m<sup>3</sup>

Beton: ~ 82.800 m<sup>3</sup> (C 30/37 - 81.200 m<sup>3</sup>; C 20/25 – 1.600 m<sup>3</sup>)

Bewehrung: ~9.300 t

Pfahlwand: Typ: aufgelöste  
 Ø: 0,60 m  
 Achsabstand: 1,2 m  
 Höhe: durchschn. 11 m  
 Anzahl: 5.616 Pfähle

Aussteifung: Stahlrohren: 408 x 325/14; 100 x 325/60  
 Anker: 72 x TITAN IBO 40/20

Tunnelquerschnitt:

Typ: Rechteckquerschnitt für zwei Gleise  
 Breite: 9,0 m  
 Höhe: einstöckiger: 5,9 m (siehe Abb. 1)  
 Wandstärke: 0,5 m  
 Plattendicke: 0,6 m

Querschnitt in Stationsbereich:

Typ: Rechteckquerschnitt für zwei Gleise  
 Breite: 16,6 m  
 Höhe: einstöckiger: 7,7 m  
 Wandstärke: 0,5 m  
 Plattendicke: 0,6 m  
 Säulen: Ø 0,5 m; Achsabstand: 2 m

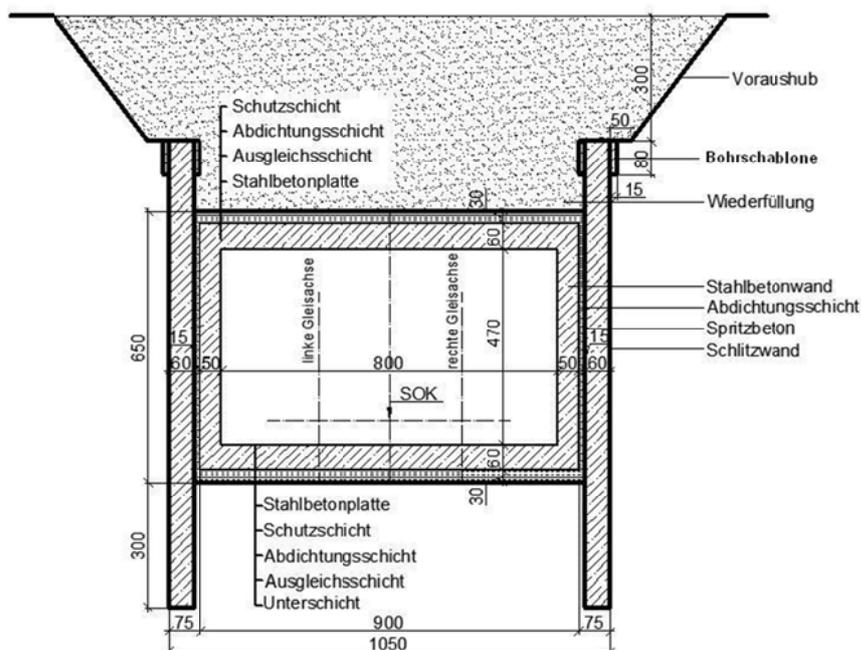


Abb. 33: Tunnelquerschnitt in einer Blockfuge

## 4.2 Technische Projektdaten der Tunnelstrecke des 1. Baules

Im Rahmen dieser Diplomarbeit wird die Tunnelstrecke des 1. Baules (ohne Stationsbereich) baubetrieblich untersucht. Für den gewählten Abschnitt werden eine Kostenermittlung (siehe Punkt 5) und ein Bauzeitplan (siehe ANHANG 8) erstellt. Folgende Daten werden für die Berechnungen herangezogen:

Tunnellänge: 750 m

Aushubtiefe: durchschnittl. 10,70 m

Erdarbeiten: ~ 125.000 m<sup>3</sup>

Beton: ~ 16.000 m<sup>3</sup> (C 30/37 - 15.640 m<sup>3</sup>; C 20/25 – 360 m<sup>3</sup>)

Bewehrung: ~2.000 t

Pfahlwand: Höhe: durchschnittl. 11 m

Anzahl: 1.250 Pfähle

Aussteifung: Stahlrohren: 156 x 325/14; 100 x 325/60

## 4.3 Bauausführung

### 4.3.1 Baugrube

Als Baugrubenverbau wird eine aufgelöste Bohrpfahlwand hergestellt. Durch die Bodenverhältnisse und die Lage der Pfähle oberhalb des Grundwasserspiegels, ist die Anwendung der aufgelösten Bohrpfahlwand möglich. Der Achsabstand (gewählt: 1,20 m) ist abhängig vom Bohrpfahldurchmesser, der Verbauhöhe, den anstehenden Baugrundverhältnissen und den Belastungen<sup>54</sup>. Der so entstehende Zwischenraum zwischen den Bohrpfählen (der bei fortschreitendem Aushub mit Spritzbeton gesichert wird) von 0,60 m ermöglicht die Ausbildung einer Gewölbewirkung durch den anstehenden Boden.

Der Arbeitsablauf bei der Herstellung der Baugrube mit Pfahlwandsicherung ist wie folgt:

- Voraushub;
- Bohrpfahlherstellung;
- Aushub mit gleichzeitigem Aussteifen bis zur Unterkante der Sohle.

---

<sup>54</sup> BUJA 2001, S. 692.

#### 4.3.1.1 Voraushub

Entlang der Trasse ist ein Voraushub mit einer Tiefe bis 3 m vorgesehen. Um die Standsicherheit des Voraushubes gemäß DIN 4124 zu gewährleisten wird eine Böschungsneigung von 1:0,75 gewählt. Durch Anordnung von waagerechten Schutzstreifen wird der Rand der Baugrube von Aushubmaterial und Gegenständen freigehalten.

Für das Ausheben, Laden, Abtransportieren oder Zwischenlagern (wenn das Bodenmaterial als Rückfüllung verwendet wird) werden Hydraulikbagger auf Raupen und LKW benötigt.

#### 4.3.1.2 Bohrpfahlherstellung

- Herstellung der Bohrschablone

Der Aushub des Freiraums für die Bohrschablonen erfolgt durch Hydraulikbagger. Die Bohrschablonen werden aus Ortbeton mit Festigkeitsklasse C 20/25 hergestellt und in einseitigen Schalungen direkt gegen den Boden in Höhe des Bohrplanums betoniert. Zwei bis sieben Tage nach dem Betonieren werden die Bohrschablonen ausgeschalt und mit Kanthölzern je 4,80 m ausgesteift, um den Abstand zwischen den Schablonen (60 cm + 5 cm Toleranzmaß) zu gewährleisten. Die vorgesehenen Abmessungen der Bohrschablone sind in der Abb. 34 dargestellt.

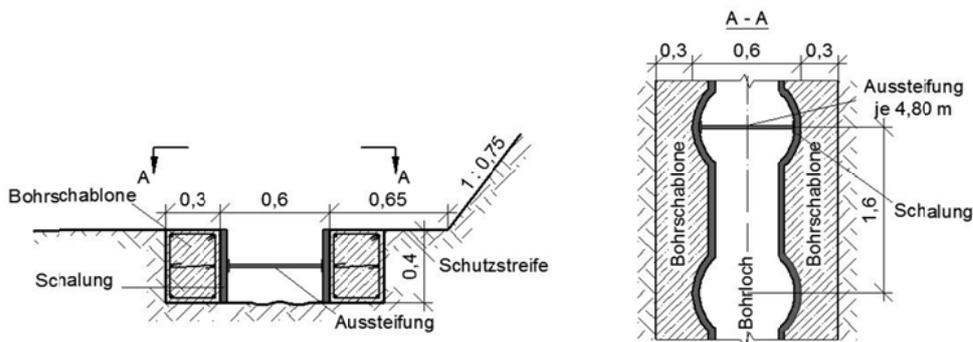


Abb. 34: Bohrschablone

In den Tabelle 5 und Tabelle 6 wird eine Übersicht über die verwendeten Materialien angegeben.

	Festigkeitsklasse	Betonaufwand
Beton	C20/25	0,12 m <sup>3</sup> /lfm

Tabelle 5: Übersicht über den verwendeten Beton in den Bohrschablonen

Bewehrung	Durchmesser	Gewicht
Hauptbewehrung	N 14 mm	0,009 t/lfm
Bügelbewehrung	N 6,5 mm	
Aussteifungsbewehrung	N 6,5 mm	

Tabelle 6: Übersicht über die verwendete Bewehrung in den Bohrschablonen

Nach Fertigstellung der Bohrpfähle werden die Schablonen abgebrochen.

- Abteufen der Bohrung

Nach Fertigstellung der Bohrschablonen wird mit dem Abteufen der Bohrung begonnen. Die Pfähle (D = 60 cm) werden einer nach dem anderen gebohrt. Der Bodenaushub erfolgt kontinuierlich mittels Drehbohranlage mit durchgehender Schnecke.

Die Gründe der Wahl des Bohrverfahrens sind:

- wechselnde Bodenschichten;
- Aushubtiefen bis 15 m;
- beengte Platzverhältnissen;
- hohe Leistungsfähigkeit;
- mögliche Anwendung im Einflussbereich von erschütterungs- und setzungsempfindlichen Bauten.

Abb. 35: Durchgehende Bohrschnecke<sup>55</sup>

<sup>55</sup> Homepage: [www.rockall.com](http://www.rockall.com)

### - Betonieren

Das Betonieren geschieht direkt durch das Seelenrohr der Bohrschnecke. Um zu verhindern, dass Wasser oder Boden in das Seelenrohr eindringt, wird das Rohr unten mit einer verlorenen Spitze verschlossen. Nach Erreichen der Endtiefe wird mittels einer Betonpumpe Beton unter Druck durch das Seelenrohr eingebracht (die Spitze wird abgestoßen) und gleichzeitig wird die Bohrschnecke ohne Drehbewegungen gezogen.

Es ist zu beachten, dass der Beton folgende Eigenschaften aufweist:

- Pumpfähigkeit;
- Korngröße bis 16 mm;
- vorzugsweise Gesteinskörnung aus Rundkorn;
- möglichst hoher Feinkornanteil oder Fülleranteil.

Die Tabelle 7 gibt eine Übersicht über den verwendeten Beton der Verbauwände an.

	Festigkeitsklasse	Betonaufwand
Beton	C 30/37	0,28 m <sup>3</sup> /lfm

Tabelle 7: Übersicht über den verwendeten Beton in den Verbauwänden

### - Bewehrung

Der Bewehrungskorb wird in den Frischbeton gerüttelt. Am Kopf wird ein Rüttelblech an zwei Aussteifungsringen stabil angeschweißt. An diesem Rüttelblech wird ein kleiner Elektrorüttler angeklemmt, der den Bewehrungskorb bis zur Bohrlochsohle einrüttelt. Der Bewehrungskorb muss senkrecht und zentrisch in die Betonsäule eingebracht werden.

Der Bewehrungskorb verfügt, um eine Betondeckung von 7,5 cm zu gewährleisten, über vorgefertigte Abstandshalter. Die Längsbewehrung ist auf den letzten 2 m konisch zu verjüngen. Die Planung der Bewehrungskörbe entspricht ÖNORM EN 1536 und Eurocode 2. In Abb. 36 wird ein Schema für den Bewehrungseinbau eines Bohrpfahls angegeben.

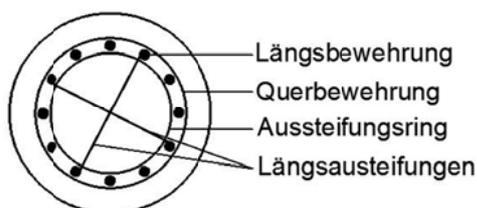


Abb. 36: Schema für den Bewehrungseinbau im Querschnitt

Die verwendeten Stabdurchmesser werden in der Tabelle 8 angegeben.

Bewehrungsart	Durchmesser	Gewicht
Vertikalbewehrung	N 18, N 20, N 25	0,05 t/lm
Bügelbewehrung	N 12	
Aussteifungskreuzen	N 16	
Fußbewehrung	N 20	

Tabelle 8: Übersicht über die verwendete Bewehrung in den Verbauwänden

Für Aussteifungselemente werden Aussparungen vorgesehen, welche sicher am Bewehrungskorb zu befestigt sind. Falls die Bohrpfahlwände durch Stahlrohre ausgesteift werden, werden für deren Anschluss in den Bewehrungskorb Stahlplatten mit einer Dicke von 1 cm eingebaut.

#### - Nacharbeiten

Der Pfahlkopf wird maschinell mit BRC Pfahlkopf-Fräse (Firma Liebherr) außerhalb der Bewehrung ringförmig und innerhalb der Bewehrung zylindrisch auf 1,0 m abgefräst. Der verbleibende Beton um die Bewehrung wird händisch mit einer Brechzange abgebrochen. Anschließend wird der Pfahlkopfbalken aus Ortbeton (C 30/37) hergestellt, der die gemeinsame statische Wirkung der Pfähle gewährleistet.

Abb. 37: Pfahlkopf-Fräse<sup>56</sup>

#### 4.3.1.3 Aushub der Baugrube

Der Aushub der Baugrube erfolgt mit gleichzeitiger Anordnung von Aussteifungselemente (Stahlrohre). Die freigelegte Fläche der Verbauwände und die Bodenbeanspruchungen

<sup>56</sup> Firmenprospekt: Fa. BVV Spezialbautechnik Vertriebs GmbH 2009.

bestimmen die Wahl der Stahlrohre. Es wurde ein Stahlrohr mit einem Aussendurchmesser/Wanddicke von 325 mm/14 mm festgelegt. Bei den größten Aushubtiefen werden zwei Steifenlagen angeordnet.



Abb. 38: Hydraulikbagger auf Raupen<sup>57</sup>

Der Raum zwischen den einzelnen Pfählen wird bei fortschreitendem Aushub durch bewehrten Spritzbeton und Bodennagel gesichert (siehe Abb. 39). Auf Grund der höheren Leistung pro Stunde, der geringeren Staubbelastung und des geringeren Rückpralls wird der Spritzbeton im Nassspritzverfahren aufgebracht. Der Beton wird mit einer Betonpumpe durch eine Schlauchleitung gefördert und am Schlauchende in einer Düse mit Druckluft beaufschlagt. Durch die Verengung der Düse wird die benötigte Geschwindigkeit erzielt. Es werden Spritzleistungen bis zu 20 m<sup>3</sup>/h erreicht.<sup>58</sup>

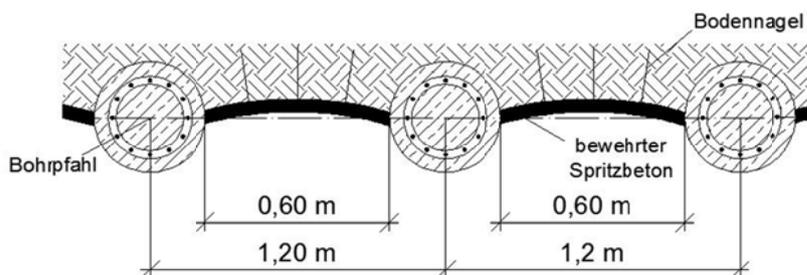


Abb. 39: Stützgewölbe<sup>59</sup>

Um für den Endzustand eine ebene Wandoberfläche herzustellen wird der Zwischenraum zwischen Spritzbeton – Oberfläche und herzustellenden Wandoberfläche mit Magerbeton ausgefüllt.

<sup>57</sup> Firmenprospekt: Liebherr International Deutschland GmbH 2008.

<sup>58</sup> KÖNIG 2008, S. 30.

<sup>59</sup> BUJA 2001, S. 699.

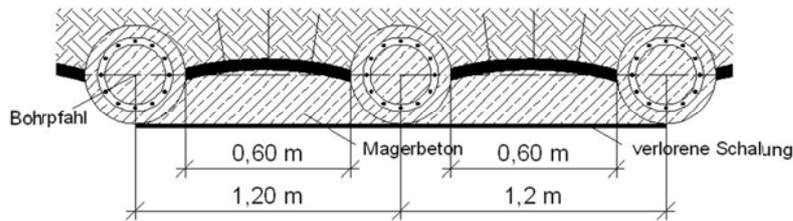


Abb. 40: Verfüllen des Zwischenraums

#### 4.3.2 Innenschale

Der Arbeitsablauf bei der Herstellung der Innenschale gliedert sich wie folgt:

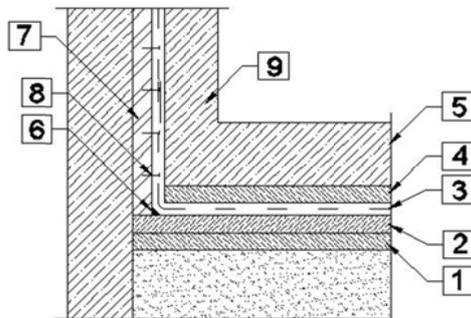
- Einbringen des Unterbetons;
- Aufbringen des Spritzbetons an den Verbauwänden;
- Herstellen der Abdichtung an den Verbauwänden;
- Herstellen der Abdichtung und der Schutzschicht auf der Baugrubensohle;
- Schalen, Bewehren und Betonieren der Sohle;
- Schalen, Bewehren und Betonieren der Innenwände und der Decke;
- Herstellen der Abdichtung auf der Decke;
- Verfüllen und Verdichten der Baugrube.

**Unterbeton:** Um ein Planum für die Sohlplatte herzustellen, werden eine Sauberkeits- und eine Ausgleichschicht ausgeführt. Die Dicke beider Schichten betragen ca. 10 cm. Der Beton verfügt über eine Festigkeitsklasse von C 12/15.

**Abdichtung:** Die vertikale Abdichtung wird auf den Spritzbeton und die horizontale Abdichtung auf den Ausgleichsbeton aufgelegt. Für die Abdichtung wird eine Hydroisulationsmembrane „ISOBENT“ der Firma „Eco Technology“ gewählt, die direkt auf den Unterbeton (frühestens drei Tagen nach der Betonage) aufgebracht wird.

Die einzelnen Membranbahnen der horizontalen Abdichtung überlappen sich in Längsrichtung min. 10 cm und in Querrichtung min. 15 cm. Um eine gute Verbindung zwischen der horizontalen und vertikalen Schutzschicht zu erzeugen, werden in den Randzonen die Bahnen an den vertikalen Wänden min. 30 cm hochgezogen und mechanisch an der Betonoberfläche befestigt. Die Überlappung zwischen den vertikal aufgelegten Einzelbahnen darf in Längs- und in Querrichtung 30 cm nicht unterschreiten. Die Membranbahnen werden mechanisch mittels Stahlnägeln fixiert (min. 3 Stk/m). Die Nägel

werden vor allem in den Überlappungszonen mit einem Längsabstand von 30 cm eingeschlagen.<sup>60</sup> In der Abb. 41 ist ein Detail der verwendeten Isolationsschicht angegeben.



Bezeichnungen:

1. Unterbeton, C12/15 – 10 cm
2. Ausgleichsbeton, C12/15 – 9 cm
3. Isolationsschicht, ISOBENT – 6 ± 1 mm
4. Schutzbeton, C12/15 – 10 cm
5. Stahlbetonplatte, C30/37 – 60 cm
6. Zement-Sand-Mörtel – 5 cm
7. Spritzbeton, C12/15 – 12,5 cm
8. Stahlnagel – Hilti
9. Stahlbetonwand, C30/37 – 50 cm

Abb. 41: Detail der Feuchtigkeitsschutz

**Bewehren und Betonieren:** Die herzustellende Innenschale wird in Längsrichtung in Betonierabschnitte von 10 m unterteilt.

Zunächst wird die Sohlplatte bewehrt und betoniert. Die Herstellung der Betonsohle erfolgt einige Betonierabschnitte vorseilend vor der Herstellung der Innenschale. Die Wände und die Decken werden mit einem Schalwagen in einem Guss betoniert. Die mit Spritzbeton behandelten Verbauwände dienen dabei als Konterschaltung. Im Wandbereich ist die Bewehrung von leichten Fassadengerüsten aus einzubauen. Die Deckausführung wird von der Geländeoberfläche versorgt und bedient.

Für die Herstellung werden zwei Schalwagen eingesetzt (siehe Abb. 42). Beide Schalwagen sind dabei gleichzeitig im Einsatz, wobei der erste Schalwagen im 1. Block und der Zweite im 75. Block positioniert ist. Der Schalwagen stellt eine fahrbare Einheit von der Länge eines Betonierabschnittes dar und wird im Ganzen zum nächsten Betonierabschnitt weiter gezogen.

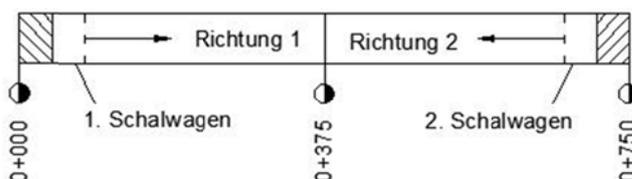


Abb. 42: Position der Schalwagen entlang der Trasse

Zwei Blöcke werden im Wochentakt (schalen, bewehren, betonieren) hergestellt. Die Innenschale wird sieben Tage nach dem Betonieren ausgeschalt und der Wagen wird zum

<sup>60</sup> Firmenprospekt: Fa. ECO Technology GmbH 2009.

nächsten Betonierabschnitt weitergezogen. Die nachfolgende Abbildung zeigt schematisch den Arbeitsablauf zweier Blöcke im Wochentakt.

	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So	Mo
Richtung 1 1 Bl. → 37 Bl.	Bewehren Sohle	Schalen Betonieren	Bewehren Wände	Aus-/ Einschalen	Bewehren Decke	Betonieren Wände & Decke	Ruhetag Bewehren	Bewehren Sohle
	Ruhetag Betonieren							
Richtung 2 75 Bl. → 37 Bl.	Bewehren Sohle	Schalen Betonieren	Bewehren Wände	Aus-/ Einschalen	Bewehren Decke	Betonieren Wände & Decke	Ruhetag Bewehren	Bewehren Sohle
			Ruhetag Betonieren					

Abb. 43: Arbeitsablauf eines Blockes im Wochentakt

In Abb. 44 ist ein Beispiel für die Schalung des teilmonolithischen Tunnelquerschnittes angegeben.

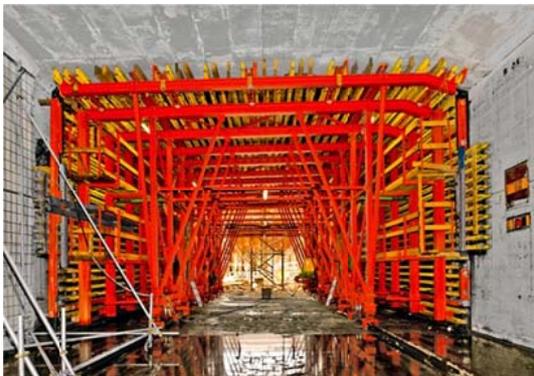


Abb. 44: Teilmonolithischer Tunnelquerschnitt<sup>61</sup>

Die Betondeckung beträgt 3,5 cm und wird durch Abstandshalter gewährleistet. Die Bewehrungsstäbe werden mittels Bindedraht zusammengeknüpft. Die verwendeten Stabdurchmesser werden in der Tabelle 9 angegeben.

Bewehrungsart	Durchmesser	Gewicht
Hauptbewehrung	N 16, N 18, N 20, N 22, N25	1,64 t/lfm
Bügelbewehrung	N 12	
Einspannbewehrung	N 16	

Tabelle 9: Übersicht über die verwendete Bewehrung in der Tunnelkonstruktion

Die Festigkeitsklasse des verwendeten Betons bzw. der durchschnittliche Betonverbrauch bei der Herstellung der Tunnelkonstruktion werden in der Tabelle 10 dargestellt.

	Festigkeitsklasse	Betonaufwand
Beton	C 30/37	15,5 m <sup>3</sup> /lfm

Tabelle 10: Übersicht über den verwendeten Beton in der Tunnelkonstruktion

<sup>61</sup> Homepage: www.peri.de

Nach Fertigstellung der Tunnelkonstruktion wird die Baugrube bis zum geplanten Niveau lagenweise rückgefüllt. Das rückgefüllte Bodenmaterial wird durch Walzen verdichtet.

#### 4.4 Baustelleneinrichtung

##### 4.4.1 Großgeräte

Für den 1. Baulos ist die Gerätedisposition in der Tabelle 11 angegeben.

Geräte	Anzahl
Hydraulikbagger auf Raupen	4
Drehbohranlage mit langer Schnecke	2
Betonspritzgerät	1
Kleinbohrgerät	1
LKW	8
Tandemvibrationswalzen	1
Autobetonpumpe	2
Betonfahrmischer	10
Mobilkrane	2

Tabelle 11: Gerätedisposition

##### 4.4.2 Verkehrsflächen und Transportwege

Die Trasse ist so geplant, dass keine Umwege für den Baustellenverkehr und keine Totalsperren der öffentlichen Straßen notwendig werden. Für die Errichtung der Baustellenstraßen ist nur ein kurzfristiger Umbau der öffentlichen Straßen erforderlich.

Für den externen Baustellenverkehr (Anlieferung der Baustoffe und Bauteile, für Abtransport von Aushubmaterial) werden die öffentlichen Straßen genutzt.

Für den internen Baustellenverkehr werden zweispurige Stichstraßen vorgesehen, die in einem Sicherheitsabstand ( $2 \text{ m}^{62}$ ) von der Außenkante der Baugrube angelegt werden. Die Baustraße hat eine Breite von 6,0 m. Es sind keine Bereiche für das Halten, Entladen und Ausweichen notwendig. Am Ende der Stichstraße ist eine ausreichend dimensionierte Wendemöglichkeit vorhanden (siehe Abb. 45).

---

<sup>62</sup> SCHACH 2008, S. 277.

Die Zu- und Abfahrten zum Baustellengelände sind so anzulegen, dass der öffentliche Geh-, Rad- und Straßenverkehr möglichst wenig gestört wird und sich die Baustellenfahrzeuge ungehindert in den Verkehrsfluss einordnen können.<sup>63</sup>

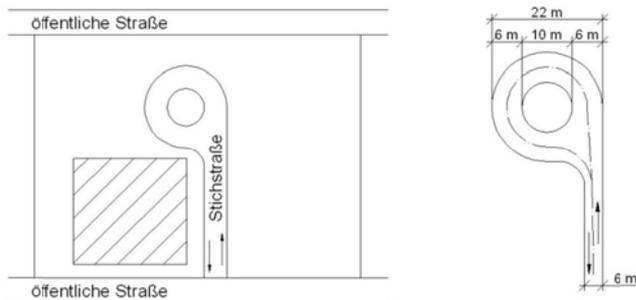


Abb. 45: Dimensionierung von Wendemöglichkeiten<sup>64</sup>

#### 4.4.3 Sozial- und Büroeinrichtungen

##### 4.4.3.1 Personalbedarf

Der Arbeiterstand besteht aus 26 Facharbeiter (10 Bewehrungsarbeiter, 12 Betonierungsarbeiter, 4 Abdichtungsarbeiter), 6 Helfer, 4 Maschinist, 8 Fahrer. Es ist zu beachten, dass nicht alle Arbeiter gleichzeitig auf der Baustelle beschäftigt sind. Die maximale Anzahl der Beschäftigte von 33 Personen ergibt sich aus dem Arbeitsnehmerdiagramm (siehe ANHANG 8).

Auf der Baustelle wird auch unproduktives Personal für die gesamte Baudauer beschäftigt: 1 Bauleiter, 2 Polier, 1 Magazineur, 1 Laborant und 2 Kranfahrer.

##### 4.4.3.2 Geplante Einrichtungen

Die Sozial- und Büroeinrichtungen, die an der Baustelle in Containern bereitgestellt werden, bestehen aus:

- Tagesunterkünfte – das Personal übernachtet nicht auf der Baustelle;
- Sanitäranlagen (Toiletten und Waschräume);
- Sanitäts- und Erste-Hilfe-Einrichtungen;
- Büro- und Besprechungsräume;
- Magazine für Kleingeräte, Werkzeuge u.a.

<sup>63</sup> SCHACH 2008, S. 87 – 104.

<sup>64</sup> Ebenda, S. 93.

Bei der Wahl der Anzahl und der Abmessungen der Container werden folgende Voraussetzungen<sup>65</sup> berücksichtigt:

- lichte Mindestraumhöhe – 2,30 m, bei Containern 2,20 m;
- Raumtemperatur in der kalten Jahreszeit – mindestens 21°C;
- freie Bodenfläche pro Person – 0,75 m<sup>2</sup>, bei Raumhöhen bis 2,30 m 1,00 m<sup>2</sup>;
- Tischfläche pro Person – mindestens 60 cm breit und 30 cm hoch;
- Sitzplatz pro Person – 1 Sitzplatz pro Person;
- Spind pro Person – mindestens 50 cm breit, 50 cm tief, 180 cm hoch;
- Kochnische – muss vorhanden sein;
- Nichtraucherschutz – geeignete Maßnahmen;
- Anzahl der Waschplätze – eine Waschgelegenheit pro 5 Arbeitnehmer;
- Anzahl der Brauseplätze – eine Brauseeinrichtung pro 20 Arbeitnehmer;
- Aborte – eine Abortanlage pro 20 männliche bzw. 15 weibliche Arbeitnehmer;
- Pissoirs – ein Pissoir pro 15 männliche Arbeitnehmer.

Die Container werden als Einheit zum Einsatzort gebracht und mit dem Mobilkran versetzt. Aus Platzgründen werden die Container übereinandergestellt und mit einem Treppenaufgang versehen.

Die gewählte Anzahl, Abmessungen und Massen gängiger Container sind in der Tabelle 12 zusammengefasst.

Containerart	Anzahl	Länge	Breite	Höhe	Masse je Cont.
Büro-/Aufenthaltscontainer 10'	4	2,99 m	2,44 m	2,59 m	1.245 kg
Büro-/Aufenthaltscontainer 20'	6	6,06 m	2,44 m	2,59 m	1.924 kg
Sanitärcontainer 8'	3	2,40 m	1,40 m	2,54 m	0,570 kg
Sanitärcontainer 16'	1	4,89 m	2,44 m	2,59 m	2.000 kg
Lagercontainer 20'	1	6,06 m	2,44 m	2,59 m	1.530 kg
Summe:	15				

Tabelle 12: Charakteristische Daten gängiger Container<sup>66</sup>

<sup>65</sup> JODL 2008, S. 10 und 11.

<sup>66</sup> Firmenprospekt: Fa. Container Handelsgesellschaft m.b.H. 2009, S. 61.

#### 4.4.4 Lagerräume

##### 4.4.4.1 Materialbedarf

###### - Beton

Für die Baustelle wird der Beton durch einen Subunternehmer angeliefert. Die Betonmischanlage ist ca. 4 km von der Baustelle entfernt und kann 102 m<sup>3</sup>/h Beton mit Festigkeitsklasse von C12/15 bis C40/45 produzieren. Zur Anlieferung des Betons verwendet der Subunternehmer eigene Betonfahrmischer.

Um das Fließvermögen zu gewährleisten muss die Konsistenz des Betons für die Verbauwände über ein Ausbreitsmaß von 55 cm bis 60 cm verfügen. Der Mindestzementgehalt ist mit 325 kg/m<sup>3</sup> vorgeschrieben.<sup>67</sup>

###### - Betonstahl

Der verwendete Stahl BSt 500 wird als gerippter Stabstahl mit einem Durchmesser von 6,5 mm bzw. 12 mm bis 25 mm angeliefert und muss der EN 10 080 entsprechen. Die Stäbe mit einem Durchmesser von 6,5 mm sind eine Besonderheit bulgarischer Stahlwerke und werden überwiegend als konstruktive Bewehrung eingesetzt.

###### - Abdichtung

Zum Schutz der Tunnelkonstruktion gegen das Eindringen von Feuchtigkeit wird eine geosynthetische Bentonitmembrane (ISOBENT<sup>68</sup>) der Firma „Eco Technology“ vorgesehen. „ISOBENT“ wird in Sandwich-Form in drei Schichten hergestellt. Hierbei befindet sich gekörntes Bentonit zwischen zwei Geotextilschichten. Nach Anfeuchten und Volumsvergrößern des Materials wandelt sich dieses in eine flexible Membrane die eventuell bestehende Hohlräume ausfüllt. „ISOBENT“ wird in Bahnen mit einer Standardbreite von 5 m und -länge von 40 m, angeliefert. Die Bentonitmenge schwankt zwischen 3,5 und 4,8 kg/m<sup>2</sup>.

##### 4.4.4.2 Lagerräume, -flächen

Für die auf der Baustelle verwendete Materialien und Produkte werden Lagerräume und Stellflächen vorgesehen. Es wird dabei darauf geachtet, dass aus Kostengründen die Materialien und Produkte (Betonstabstahl, Einbau- und Anlagenteile, Schal- und Rüstmaterial) im Sinne einer Just-in-time-Lieferung nur kurz auf der Baustelle gelagert

<sup>67</sup> ÖNORM EN 1536 1999, S. 19.

<sup>68</sup> Firmenprospekt: Fa. ECO Technology GmbH 2009.

werden.<sup>69</sup> Alle Erdmassen werden für die spätere Rückfüllung abtransportiert und anderorts zwischengelagert.

In der Tabelle 13 sind die notwendigen Abmessungen der Lagerräume angegeben.

Containerart	Anzahl	Länge	Breite	Höhe	Masse je Cont.
Lagercontainer 20'	1	6,06 m	2,44 m	2,59 m	1.530 kg

Tabelle 13: Abmessungen und Massen gängiger Container<sup>70</sup>

Die Stahlstäbe werden auf getrennten Stellflächen im Verwendungsbereich gelagert. Die Lagerung erfolgt auf Unterlagshölzern, um das Verschmutzen der Stäbe durch Bodenberührung zu vermeiden.

Das Rüst- und Schalmaterial wird aus Gründen der Beschädigung und Stabilität nur bedingt in Stappeln gelagert. Der Kontakt zum Boden wird auch hier durch Unterlagen von Kanthölzern vermieden.

	Länge	Breite	Fläche
Betonstabstahl	12 m	3 m ÷ 5 m	36 m <sup>2</sup> ÷ 60 m <sup>2</sup>
Einbau- und Anlagenteile	3 m	3 m	9 m <sup>2</sup>
Schal- und Rüstmaterial	12 m	6 m	72 m <sup>2</sup>

Tabelle 14: Stellflächen verschiedener Materialien

#### 4.4.5 Medienversorgung und Entsorgung

Zur Medienversorgung gehört die Versorgung der Baustellen mit elektrischer Energie, Wasser, Druckluft und Treibstoff sowie der Anschluss an Kommunikationsnetze. Die benötigte Infrastruktur wird direkt am Grundstück vorbei geführt und ist daher problemlos zu erschließen. Bei der Verteilung der Medien auf der Baustelle sind Leitungen und Kabel frei und teilweise unterirdisch zu verlegen. Die Entsorgung betrifft insbesondere den anfallenden Abfall sowie Schmutz- und Niederschlagwasser.<sup>71</sup>

<sup>69</sup> SCHACH 2008, S.107.

<sup>70</sup> Firmenprospekt: Fa. Container Handelsgesellschaft m.b.H. 2009, S. 61.

<sup>71</sup> SCHACH 2008, S. 126.

## 4.4.5.1 Wasserversorgung

Ausgangsdaten zur Ermittlung des Wasserbedarfes:

Max. Anzahl Arbeitnehmer (22 gewerbl., 5 unprod.)	= 29 AN
Max. Betonierleistung	= 100 m <sup>3</sup> /AT
Wasser für Nachbehandlung des Betons und Gerätereinigung:	= 0,04 m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> Beton
Zuschlag für Verluste:	= 10%

Wasserbedarf der AN:

$$29 \text{ AN} \times 0,03 \text{ m}^3/\text{AT}^{72} \text{ und AN} = 0,87 \text{ m}^3/\text{AT}$$

Sonstiges:

Nachbehandlung des Betons und Gerätereinigung	
100 m <sup>3</sup> /AT x 0,04 m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>	= <u>4,00 m<sup>3</sup>/AT</u>

<u>Zwischensumme:</u>	= 4,87 m <sup>3</sup> /AT
-----------------------	---------------------------

Leitungsverluste 10% von 4,84 m <sup>3</sup>	= <u>0,49 m<sup>3</sup>/AT</u>
--	--------------------------------

<b>Gesamtbedarf:</b>	<b>= 5,36 m<sup>3</sup>/AT</b>
----------------------	--------------------------------

## 4.4.5.2 Strombedarf

Der Strombedarf der Baustelle ergibt sich aus dem Stromverbrauch der eingesetzten Baumaschinen, zuzüglich des Strombedarfes für Beleuchtung, Büromaschinen, Warmwasseraufbereitung u.s.w. In der Tabelle 15 ist der Strombedarf dargestellt.

Menge	Bezeichnung	ÖBGL-Nr	kW	kW*Menge
2	Innenvibrator	1816-0090	1	2
2	Vibrationsbohle	1832-0040	1,5	3
1	Betonstahlschere	9162-0020	1,5	1,5
1	Handschalungsreiniger	9217-0150	1	1
1	Hochdruckreiniger	9330-0025	2,5	2,5
2	Spritzgerät	-	25	50
<b>Summe</b>				<b>60</b>

Tabelle 15: Ermittlung des Strombedarfes

---

<sup>72</sup> JODL, et al., 2008.

Ermittlung der aufgenommenen Leistung:

$$\eta = P_{ab} / P_{auf} \rightarrow P_{auf} = P_{ab} / \eta$$

Wirkungsgrad:  $\eta = 0,85$  (angenommen)

$$P_{auf} = 60 / 0,85 = 70,59 \text{ kW}$$

Für einen Leistungsfaktor  $\cos\phi = 0,60$  ergibt sich die erforderliche Scheinleistung zu:

$$P_s = P_{auf} / \cos\phi = 70,59 / 0,60 = 117,65 \text{ kW}$$

Stück	Elektrogerät	Anschlusswert [kW]	
		Einzel	Gesamt
	Baugeräte		117,65
4	Kaffeemaschinen	1,00	4,00
2	Wasserkocher	2,00	4,00
3	Kühlschränke	0,20	0,60
1	Boiler	12,00	12,00
	Bürogeräte (Annahme)		5,00
10	Heizlüfter	2,00	20,00
25	Beleuchtung	0,04	1,00
<b>Gesamt</b>			<b>164,25</b>

Tabelle 16: Ermittlung der Anschlusswert

Gleichzeitigkeitsfaktor: 0,60 (angenommen)

$$\text{Anschlusswert: } 164,25 \times 0,60 = 98,55 \text{ kW}$$

Gewählt: ein Anschlussschrank ÖBGL-Nr. 7701-0160 (Anschlusswert 100 kW) und drei Verteilerschränke ÖBGL-Nr. 7703-0160 (Anschlusswert 100 kW)

#### 4.4.6 Baustellensicherung

Die eindeutige Abgrenzung des Baufeldes wird durch einen geschlossenen Bauzaun erreicht. Die leichten Trapezbleche mit einer Abmessung von 2 x 2 m werden mit selbst schneidenden Schrauben auf Steher mit vorgebohrten Löchern befestigt (siehe Abb. 46a). Der Abstand der Pfosten liegt bei etwa 2 m.

Durch die Anordnung von Bauzäunen wird die Umgebung vor Staub und Verschmutzungen geschützt. Gleichzeitig erfüllt der Bauzaun auch eine gestalterische Funktion. Die Bauzäune

sind wiederwendbar und sind so ausgerichtet, dass ein schneller Auf- und Abbau und ein einfacher Transport möglich ist.

Zusätzlich zum Bauzaun sind folgende Sicherheitsmaßnahmen und –einrichtungen<sup>73</sup> vorzusehen:

- Kennzeichnung der Baustelle – Verkehrsschilder, vorübergehende Markierungen, Warneinrichtungen u.a.;
- Baustellenbeleuchtung;
- Persönliche Schutzausrüstung – Industrieschutzhelme, Sicherheitsschuhe, Schutzhandschuhe und –kleidung u.a.;
- Brandschutz – funktionsfähiger Brandschutzplan, Flucht- und Rettungswege, Löschwasserversorgung u.a.

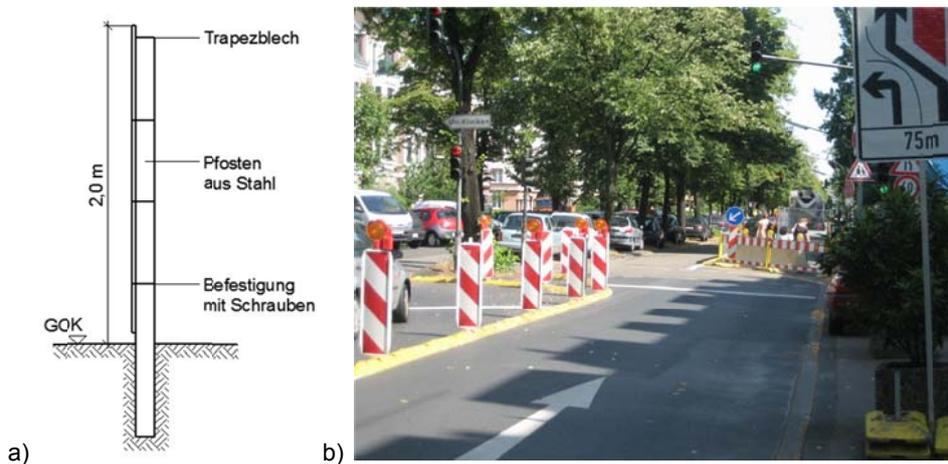


Abb. 46: a) Geschlossener Bauzaun<sup>74</sup>; b) Sicherheitsmaßnahmen einer Baustelle (Beispiel)<sup>75</sup>

<sup>73</sup> Vgl. SCHACH, et al., 2008, S. 201 – 248.

<sup>74</sup> Ebenda, S. 197.

<sup>75</sup> Firmenprospekt: Fa. Debuschewitz Verkehrstechnik GmbH & Co. 2008.

## 5 KOSTENERMITTLUNG

### 5.1 Allgemeines

Die Berechnung der Kosten werden für das 1. Bauabschnitt der U-Bahnverlängerung durchgeführt. Das Bauabschnitt liegt zwischen km 0+000 und km 0+920 und wird in offener Bauweise ausgeführt. 270 m werden im RQ1, Ausführungsvariante 1 (siehe Abb. 9) und 480 m im RQ1, Ausführungsvariante 2 (siehe Abb. 9) hergestellt.

Für die folgenden Berechnungen wurde die entsprechenden Werte dem Handbuches für Baukosten<sup>76</sup> in BGN und der ÖBGL (1996) in ATS entnommen und werden für die weiteren Kalkulationen in EUR umgerechnet. Die Baukosten im Handbuch für Baukosten (2009) werden für die einzelnen Bauarbeiten inkl. Geräte-, Lohn- und Materialkosten angegeben.

Es werden folgende Annahmen getroffen:

MLK: 3 €/h;

MLK – Fahrer: 3,3 €/h;

MLP = MLK x GZ = 3 €/h x 1,125 = 3,3 €/h;

Gesamtzuschlag (Lohn, Stoff, Gerät): 12,5%;

Lagerungsdichte: 2,10 t/m<sup>3</sup>;

Auflockerungsfaktor: 1,25;

Abminderungsfaktoren ÖBGL: AV: 0,60, Rep: 0,70;

Durchschnittlicher Dieserverbrauch: 0,2 l/kWh;

Dieselpreis: 0,80 €/l;

Strompreis: 0,06 €/kWh;

Wasserpreis: 0,92 €/m<sup>3</sup>;

GHPI: 131,3% (zur Anpassung der ÖBGL-Werte);

1,9558 BGN = 1 €;

13,7603 ATS = 1 €;

1 Mo = 172 h ( 5 AT/Wo);

1 Mo = 241 h ( 7 AT/Wo).

---

<sup>76</sup> DEENICHINA 2009.

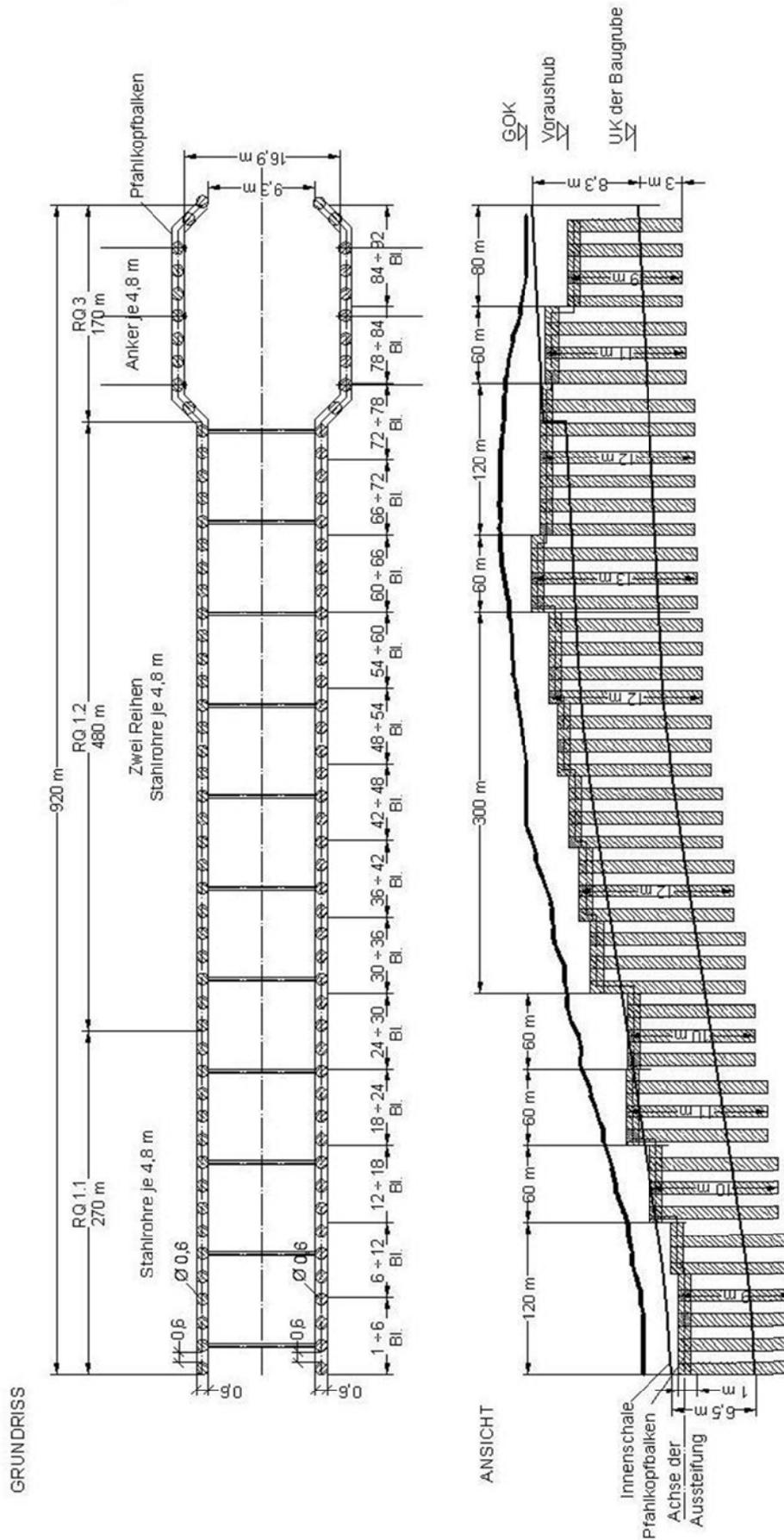


Abb. 47: Grundriss und Ansicht des gewählten Bauloses (überhöht)

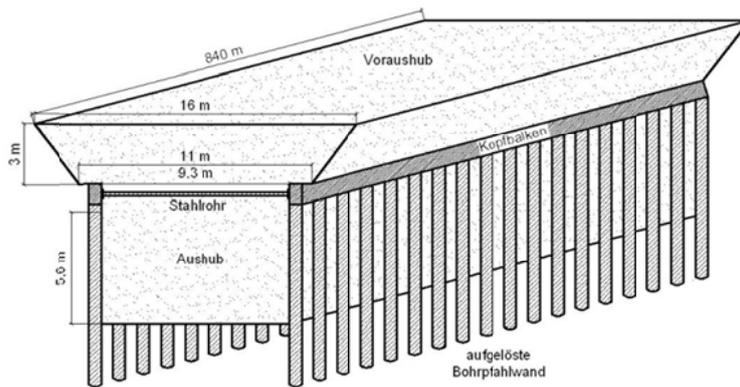


Abb. 48: Schema für Ermittlung der Erdmassen

## 5.2 Bauausführungskosten

Der Einheitspreis der herzustellenden Leistungen gliedert sich in:

- Einzellohnkosten – ergeben sich aus dem Produkt des kalkulierten Zeitaufwandes für die jeweilige Leistung und den Mittellohnkosten;
- Einzelmaterialkosten – ergeben sich aus dem kalkuliertem Bedarf an Bau- und Hilfsmaterialien, Betriebsstoffen sowie Verschleiß- und Wartungskosten von Geräte;
- Einzelgerätekosten – ergeben sich aus dem Zeitaufwand für die Erbringung der betreffenden Leistung auf Grund der Kosten für Abschreibung und Verzinsung.

Der Gesamtpreis ergibt sich aus der Summe der einzelnen Positionspreise.

Der Bauablauf gliedert sich in folgenden Abschnitten:

- Voraushub;
- Herstellen der Bohrpfähle;
- Schrittweiser Aushub mit gleichzeitigem Einbau der Aussteifung;
- Herstellen der Innenschale;
- Rückfüllung.

### 5.2.1 Voraushub

Angabe: Voraushub in 45 AT;

$$\text{Voraushub} = 3 \text{ m} \times 750 \text{ m} \times (11,5 \text{ m} + 16 \text{ m}) / 2 = 30.938 \text{ m}^3_{\text{fest}} \text{ (siehe Abb. 48)}$$

$$\text{Masse Voraushub} = 30.938 \text{ m}^3_{\text{fest}} \times 1,25 \text{ (Auflockerungsfaktor)} = 38.672 \text{ m}^3_{\text{lose}}$$

$$45 \text{ AT} \times 8 \text{ h/AT} = 360 \text{ h} \rightarrow L_{\text{erf.}} = 38.672 \text{ m}^3_{\text{lose}} / 360 \text{ h} = 107,4 \text{ m}^3_{\text{lose}}/\text{h}$$

Gerätewahl: Hydraulikbagger mit Tieföffel;

Gewählt: 60 LS/h

Tieföffelinhalt:  $V_{\text{erf}}/\text{LS} = \text{erf. Leistung}/h_{(\text{lose})} / (\text{Ladespiele} \times \text{Füllfaktor})$

$$V_{\text{erf}}/\text{LS} = 107,4 \text{ m}^3_{\text{lose}}/\text{h} / (60 \text{ LS/h} \times 0,90) = 1,99 \text{ m}^3_{\text{lose}}/\text{LS}$$

Gewählt: ÖBGL 3182-0200 TL für Hydraulikbagger 2 m<sup>3</sup>, (1m<sup>3</sup> ~ 20 t Dienstgewicht)

ÖBGL 3140-0400 Hydraulikbagger auf Raupen 40 t

Hydraulikbagger mit Tieföffel für Voraushub				
H-Bagger	ÖBGL	3140-0400	f-AV	0,6
TL	ÖBGL	3182-0200	f-Rep	0,7
TL	AV-ATS	4.860,00		
	Rep-ATS	3.400,00		
	AV-€	353,19		
	Rep-€	247,09		
H-Bagger	AV-ATS	114.400,00	KW	160
	Rep-ATS	109.200,00		
	AV-€	8.313,77		
	Rep-€	7.935,87		
Summe				
	Summe AV/h	39,70	inkl.GHPI	
	Summe Rep/h	43,73	inkl.GHPI	
	Betriebsstoffe	25,60		
	Schmierstoffe	2,56		
	Fahrer	3,30		
	Kosten/h	114,88	€/h	

Tabelle 17: Kosten Hydraulikbagger

Ist-Leistung:  $60 \text{ LS/h} \times 2,00 \text{ m}^3 \times 0,90 = 108 \text{ m}^3_{\text{lose}}/\text{h} > L_{\text{erf}} = 107,4 \text{ m}^3_{\text{lose}}/\text{h}$

Dauer:  $D_{\text{erf}} = 38.672 \text{ m}^3_{\text{lose}} / 108 \text{ m}^3_{\text{lose}}/\text{h} = 358 \text{ h} \sim 45 \text{ AT} \sim 9 \text{ Wo}$

Gesamtkosten:  $114,88 \text{ €/h} / 108 \text{ m}^3_{\text{lose}}/\text{h} = 1,06 \text{ €/ m}^3_{\text{lose}}$

$$114,88 \text{ €/h} / 86,4 \text{ m}^3_{\text{fest}}/\text{h} = 1,33 \text{ €/ m}^3_{\text{fest}}$$

$$K_{\text{Ges. Voraushub}} = 1,33 \text{ €/ m}^3_{\text{fest}} \times 30.938 \text{ m}^3_{\text{fest}} = 41.136,57 \text{ €}$$

- Verfuhr

Gerätewahl: Ein LKW soll mit 5÷8 Ladespielen befüllt werden.

Ladespiele	5	8
erf. Ladeinhalt [ $m^3_{lose}$ ] = LS x Tieflöffelinhalt [ $m^3_{lose}$ ] x Füllfaktor	9,00	14,40
erf. Nutzlast [t] = erf. Ladeinhalt [ $m^3_{lose}$ ] x Schüttdichte [ $t/ m^3_{lose}$ ]	15,12	24,19

Tabelle 18: Gerätewahl Verfuhr

Gewählt: ÖBGL 2922-0309 LKW, Dreiachser mit Kippeinrichtung 23,3 t

Anzahl der LKW's:

Beladen:	1,0 min/LS x 7 LS	7 min
Hinfahrt:	10 km / 30 km/h x 60 min/h	20 min
Abladen:		3 min
<u>Rückfahrt:</u>	<u>10 km / 35 km/h x 60 min/h</u>	<u>17 min</u>
Umlaufzeit:		47 min

1. Stehzeitbedingung

$$T \leq n \times t_b$$

T Umlaufzeit eines Transportgerätes

n Anzahl der Transportgeräte

$t_b$  Beladezeit

$$n = \frac{\text{Umlaufzeit}}{\text{Beladezeit}} = \frac{47 \text{ min}}{7 \text{ min}} = 7 \text{ Stk}$$

2. Stehzeitbedingung

$$n \times Q_{tr} \geq Q_{la}$$

$Q_{tr}$  Transportleistung pro Stunde

$Q_{la}$  Ladeleistung pro Stunde

tatsächliche Nutzlast/Lkw

$$= 7 \text{ LS} \times 2,00 \text{ m}^3_{lose} / \text{LS} \times 0,90 \times 1,68 \text{ t/m}^3_{lose}$$

$$= 21,2 \text{ t/Lkw}$$

$$n = \frac{108 \text{ m}^3_{lose} / \text{h}}{\frac{60 \text{ min/h}}{47 \text{ min/Umlauf}} \times \frac{21,2 \text{ t/Lkw}}{1,68 \text{ t/m}^3_{lose}}} = 7 \text{ Stk}$$

→ gewählt 7 Stk

LKW				
	LKW ÖBGL	2922-0309	f-AV	0,6
			f-Rep	0,7
	LKW AV-ATS	44.100,00	kW	309
	Rep-ATS	46.200,00		
	AV-€	3.204,87		
	Rep-€	3.357,48		
	<b>Summe</b>			
	Summe AV/h	14,68	inkl.GHPI	
	Summe Rep/h	17,94	inkl.GHPI	
	Betriebsstoffe	49,44		
	Schmierstoffe	4,94		
	Fahrer	3,3		
	<b>Kosten/h</b>	<b>90,30</b>	<b>€/h</b>	

Tabelle 19: Kosten LKW

Dauer: Gleiche Dauer wie für Baugrubenvoraushub erforderlich!

Gesamtkosten:  $7 \times 90,30 \text{ €/h} / 108 \text{ m}^3_{\text{lose}}/\text{h} = 5,85 \text{ €/ m}^3_{\text{lose}}$

$7 \times 90,30 \text{ €/h} / 86,4 \text{ m}^3_{\text{fest}}/\text{h} = 7,32 \text{ €/ m}^3_{\text{fest}}$

$K_{\text{Ges. Voraushub}} = 7,32 \text{ €/ m}^3_{\text{fest}} \times 30.938 \text{ m}^3_{\text{fest}} = 226.348,25 \text{ €}$

- Kostenzusammenstellung - Voraushub

Voraushub	41.136,57 €
<u>Verfuhr</u>	<u>226.348,25 €</u>
<b>Summe</b>	<b>267.484,82-€</b>

## 5.2.2 Bohrpfahlherstellung

Angabe: Durchmesser: 0,6 m

Achsenabstand: 1,2 m

Anzahl: 100 Stk je 60 m

$L_{\text{Ges}} = 200 \text{ Stk} \times 9 \text{ m} + 200 \text{ Stk} \times 10 \text{ m} + 100 \text{ Stk} \times 11 \text{ m} +$   
 $+ 650 \text{ Stk} \times 12 \text{ m} + 100 \text{ Stk} \times 13 \text{ m} = 14.000 \text{ lfm}$

Gewählt: Drehbohranlage mit durchgehender Schnecke

Leistung<sup>77</sup>:  $10 \text{ lfm/h} \times 8 \text{ h/AT} \rightarrow 80 \text{ lfm/AT}$

<sup>77</sup> Angabe: Fa. Bauer Bulgaria GmbH.

Dauer:  $D_{\text{erf,Bohrpfahl}} = 14.000 \text{ lfm} / 80 \text{ lfm/AT} = 175 \text{ AT} (\sim 35 \text{ Wo})$   
 2 Geräte:  $\rightarrow 88 \text{ AT} (\sim 18 \text{ Wo})$

Gesamtkosten<sup>78</sup>: 75,75 €/lfm (inkl. Gerätekosten, Lohnkosten und Materialkosten)

$$K_{\text{Ges. Bohrfahl}} = 75,75 \text{ €/m}^2 \times 14.000 \text{ lfm} \times 1 \text{ m} = 1.060.500,- \text{ €}$$

### 5.2.3 Aushub der Baugrube

Angabe: Aushub in 51 AT  
 Masse Aushub =  $52.794,6 \text{ m}^3_{\text{fest}} \times 1,25 \text{ (Auflockerungsfaktor)} = 65.993 \text{ m}^3_{\text{lose}}$   
 $51 \text{ AT} \times 8 \text{ h/AT} = 408 \text{ h} \rightarrow L_{\text{erf.}} = 65.993 \text{ m}^3_{\text{lose}} / 408 \text{ h} = 162 \text{ m}^3_{\text{lose}}/\text{h}$

Gerätewahl: Hydraulikbagger mit Tieflöffel;  
 Gewählt: 60 LS/h;  
 Füllfaktor: 0,85 (der Aushub erfolgt unter erschwerten Arbeitsbedingungen)  
 Gewählter Tieflöffelinhalt:  $1,2 \text{ m}^3$   
 Tieflöffelinhalt:  $V_{\text{erf}}/\text{LS} = \text{erf. Leistung}/h_{(\text{lose})} / (\text{Ladespiele} \times \text{Füllfaktor})$   
 $V_{\text{erf}}/\text{LS} = 162 \text{ m}^3_{\text{lose}}/\text{h} / (60 \text{ LS/h} \times 0,90) = 3,17 \text{ m}^3_{\text{lose}}/\text{LS}$

Gewählt: ÖBGL 3182-0160 2 x TL für Hydraulikbagger  $1,6 \text{ m}^3$   
 ÖBGL 3140-0400 2 x Hydraulikbagger auf Raupen 40 t

<sup>78</sup> Preisangabe: Fa. Bauer Bulgaria GmbH.

Hydraulikbagger mit Tieflöffel für Aushub				
H-Bagger	ÖBGL	3140-0400	f-AV	0,6
TL	ÖBGL	3182-0160	f-Rep	0,7
TL	AV-ATS	3.120,00		
	Rep-ATS	2.180,00		
	AV-€	226,74		
	Rep-€	158,43		
H-Bagger	AV-ATS	114.400,00	kW	160
	Rep-ATS	109.200,00		
	AV-€	8.313,77		
	Rep-€	7.935,87		
Summe				
	Summe AV/h	39,12	inkl.GHPI	
	Summe Rep/h	43,25	inkl.GHPI	
	Betriebsstoffe	25,60		
	Schmierstoffe	2,56		
	Fahrer	3,3		
	Kosten/h	113,83	€/h	

Tabelle 20: Kosten Hydraulikbagger

Ist-Leistung:  $2 \times 60 \text{ LS/h} \times 1,60 \text{ m}^3 \times 0,85 = 163 \text{ m}^3_{\text{lose}}/\text{h} > L_{\text{erf}} = 162 \text{ m}^3_{\text{lose}}/\text{h}$

Dauer:  $D_{\text{erf}} = 65.993 \text{ m}^3_{\text{lose}} / 163 \text{ m}^3_{\text{lose}}/\text{h} = 404 \text{ h} \sim 51 \text{ AT} \sim 10 \text{ Wo}$

Gesamtkosten:  $113,83 \text{ €/h} / 81,6 \text{ m}^3_{\text{lose}}/\text{h} = 1,39 \text{ €/ m}^3_{\text{lose}}$

$113,83 \text{ €/h} / 65,3 \text{ m}^3_{\text{fest}}/\text{h} = 1,74 \text{ €/ m}^3_{\text{fest}}$

$K_{\text{Ges. Aushub}} = 1,74 \text{ €/ m}^3_{\text{fest}} \times 52.794,6 \text{ m}^3_{\text{fest}} = 92.059,20 \text{ €}$

- Verfuhr

Gerätewahl: Ein LKW soll mit 5÷8 Ladespielen befüllt werden.

Ladespiele	5	8
erf. Ladeinhalt [m³lose]	6,80	10,88
ef. Nutzlast [t]	11,42	18,28

Tabelle 21: Gerätewahl Verfuhr

Gewählt: ÖBGL 2922-0235 LKW, Dreiachser mit Kippeinrichtung 14 t

Anzahl der LKW's:

Beladen:	1,0 min/LS x 6 LS	6 min
Hinfahrt:	10 km / 30 km/h x 60 min/h	20 min
Abladen:		3 min
<u>Rückfahrt:</u>	<u>10 km / 35 km/h x 60 min/h</u>	<u>17 min</u>
Umlaufzeit:		46 min

1. Stehzeitbedingung:  $n = \frac{T}{t_b} = \frac{46 \text{ min}}{6 \text{ min}} = 8 \text{ Stk}$

2. Stehzeitbedingung

tatsächl. Nutzlast/Lkw =  $6 \text{ LS} \times 1,6 \text{ m}^3_{\text{lose}} / \text{LS} \times 0,85 \times 1,68 \text{ t/m}^3_{\text{lose}}$  } → gewählt 8 Stk  
 = 13,7 t/Lkw

$n = \frac{Q_{\text{la}}}{Q_{\text{tr}}} = \frac{81,6 \text{ m}^3_{\text{lose}} / \text{h}}{\frac{60 \text{ min/h}}{46 \text{ min/Umlauf}} \times \frac{13,7 \text{ t/Lkw}}{1,68 \text{ t/m}^3_{\text{lose}}}} = 8 \text{ Stk}$

LKW				
LKW	ÖBGL	2922-0235	f-AV	0,6
			f-Rep	0,7
LKW	AV-ATS	38.850,00	kW	235
	Rep-ATS	40.700,00		
	AV-€	2.823,34		
	Rep-€	2.957,78		
Summe				
	Summe AV/h	12,93	inkl.GHPI	
	Summe Rep/h	15,81	inkl.GHPI	
	Betriebsstoffe	37,60		
	Schmierstoffe	3,76		
	Fahrer	3,3		
	Kosten/h	73,40	€/h	

Tabelle 22: Kosten LKW

Dauer: Gleiche Dauer wie für Baugrubenaushub erforderlich!

Gesamtkosten:  $8 \times 73,40 \text{ €/h} / 108 \text{ m}^3_{\text{lose}} / \text{h} = 7,20 \text{ €/ m}^3_{\text{lose}}$

$7 \times 73,40 \text{ €/h} / 86,4 \text{ m}^3_{\text{fest}} / \text{h} = 8,99 \text{ €/ m}^3_{\text{fest}}$

$K_{\text{Ges. Voraushub}} = 8,99 \text{ €/ m}^3_{\text{fest}} \times 52.794,6 \text{ m}^3_{\text{fest}} = 474.871,78 \text{ €}$

## - Kostenzusammenstellung – Aushub

Aushub	92.059,20 €
<u>Verfuhr</u>	<u>474.871,78 €</u>
<b>Summe</b>	<b>566.930,98 €</b>

## 5.2.4 Aussteifung der Bohrpfähle

Angabe:

RQ, Ausführungs- variante	Länge	Art der Aussteifung	Abstand zwischen den Aussteifungselemente	Stück
1.1	270	Eine Reihe von Stahlrohre	4,8	56
1.2	480	Zwei Reihen von Stahlrohre	4,8	200

Tabelle 23: Massenermittlung der Aussteifungselemente

$$N_{\text{Stahlrohre}} = 256 \text{ Stk}$$

$$l_{\text{Stahlrohre}} = 9,30 \text{ lfm}$$

$$L_{\text{ges. Stahlrohre}} = 256 \text{ Stk} \times 9,30 \text{ lfm} = 2.380,80 \text{ lfm}$$

$$g_{\text{Stahlrohre}} = 77,68 \text{ kg/lfm}$$

$$G_{\text{ges. Stahlrohre}} = 2.380,80 \text{ lfm} \times 77,68 \text{ kg/lfm} = 184,94 \text{ kg}$$

Dauer: Gleiche Dauer wie für Baugrubenaushub erforderlich!

Gesamtkosten:

Lohn:  $K_{\text{Lohn}} = 2 \text{ Mann} \times 3 \text{ €/h} \times 404,37 \text{ h} = 2.426,2 \text{ €}$

Material: 0,51 €/kg

$$K_{\text{Material}} = 184,94 \text{ kg} \times 0,51 \text{ €/kg} = 94.319,68 \text{ €}$$

$$K_{\text{Ges. Stahlrohre}} = 2.426,2 \text{ €} + 94.319,68 \text{ €} = 96.745,88 \text{ €}$$

## - Stützgewölbe zwischen den Bohrpfählen

Das Gewölbe zwischen den einzelnen Bohrpfählen wird mit bewehrten Spritzbeton und Bodennägel ausgesteift. Das Aussteifen erfolgt schichtweise, gleichzeitig mit dem Aushub der Baugrube.

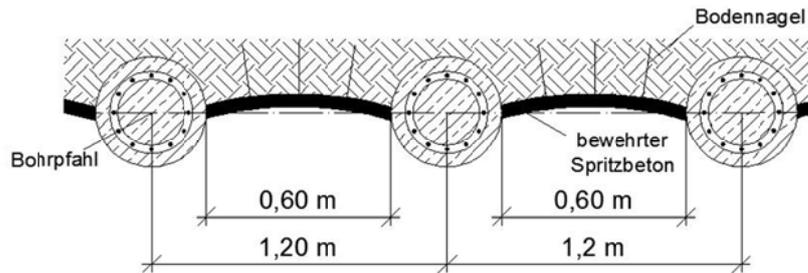


Abb. 49: Stützgewölbe zwischen den Bohrpfählen

Angabe: Einbindetiefe = 3 m

$$\text{Fläche}_{\text{Gesamt}} = (1.250 \text{ Pfähle} - 2) \times 0,6 \text{ m} \times (14.000 \text{ lfm} / 1.250 \text{ Pfähle} - 3 \text{ m})$$

$$\text{Fläche}_{\text{Gesamt}} = 6.140 \text{ m}^2$$

Leistung<sup>79</sup>: 15 m<sup>2</sup>/h

Dauer: 6.140 m<sup>2</sup> / 15 m<sup>2</sup>/h = 409 h ~ 51 AT

Gesamtkosten: inkl. Gerätekosten, Lohnkosten und Materialkosten

Spritzbeton: 20,54 €/m<sup>2</sup>

Bewehrungsgitter: 4,31 €/m<sup>2</sup>

$$K_{\text{Ges. Stützgewölbe}} = (20,54 \text{ €/m}^2 + 4,31 \text{ €/m}^2) \times 6.140 \text{ m}^2 = 152.582,98 \text{ €}$$

- Verfüllung des Zwischenraumes mit Magerbeton

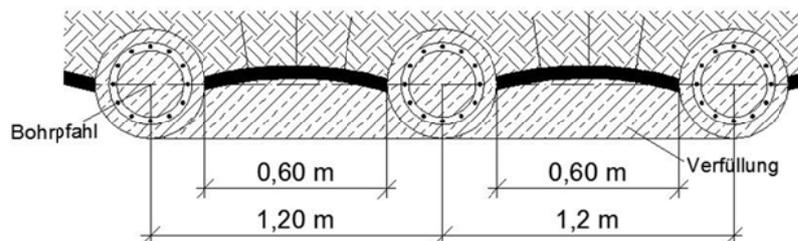


Abb. 50: Zwischenraum – Verfüllung mit Beton

Angabe: Gesamtmenge = (1.250 Pfähle – 2) x 0,6 m x 6,5 m x 0,3 m = 1.460 m<sup>3</sup>

Leistung<sup>80</sup>: 4 m<sup>3</sup>/h

Dauer: 1.460 m<sup>3</sup> / 4 m<sup>3</sup>/h = 365 h ~ 45 AT

Gesamtkosten: 50,54 €/m<sup>3</sup> (inkl. Gerätekosten, Lohnkosten und Materialkosten)

$$K_{\text{Ges. Stützgewölbe}} = 50,54 \text{ €/m}^3 \times 1.460 \text{ m}^3 = 73.796,49 \text{ €}$$

<sup>79</sup> BUJA 2001, S. 625.

<sup>80</sup> WIESER 2009.

- Kostenzusammenstellung - Aussteifen

Stahlrohre	96.745,88 €
Stützgewölbe	152.582,98 €
<u>Verfüllung</u>	<u>73.796,49 €</u>
<b>Summe</b>	<b>323.125,35 €</b>

5.2.5 Innenschale

Die Sohle wird vorausleitend betoniert, die Wände und die Decke werden in einem Arbeitsgang hergestellt. Für die Herstellung werden zwei Schalwagen eingesetzt (siehe Abb. 51). Das Betonieren erfolgt in Betonierabschnitten von 10 m. Ein Block wird im Wochentakt (Schalen, Bewehren, Betonieren) hergestellt. Die Innenschale wird sieben Tage nach dem Betonieren ausgeschalt. Im Anschluss wird der Wagen zum nächsten Betonierabschnitt weitergezogen.

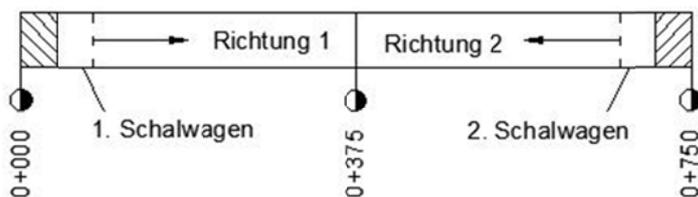


Abb. 51: Position der Schalwagen entlang der Trasse

Beiden Schalwagen sind gleichzeitig im Einsatz, wobei der erste Schalwagen im 1. Block und die zweite im 75. Block positioniert ist.

Die nachfolgende Abbildung zeigt schematisch den Arbeitsablauf für einen Innenschalenblock im Wochentakt.

	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So	Mo
Richtung 1 1 Bl. → 37 Bl.	Bewehren Sohle	Schalen Betonieren	Bewehren Wände	Aus-/ Einschalen	Bewehren Decke	Betonieren Wände & Decke	Ruhetag	Bewehren Sohle
	Ruhetag						Bewehren	Ruhetag
Richtung 2 75 Bl. → 37 Bl.	Betonieren	Bewehren Sohle	Schalen Betonieren	Bewehren Wände	Aus-/ Einschalen	Bewehren Decke	Betonieren Wände & Decke	Bewehren

Abb. 52: Arbeitsablauf eines Blockes im Wochentakt

5.2.5.1 Sohle

- Unterbeton

Angabe: 10 m x 9,3 m x 0,30 m = 27,9 m³/Block  
 27,9 m³ x 75 Blöcke = 2.092,5 m³

Leistung<sup>81</sup>: Annahme: 11 m³/h

Dauer: 28 m³ / 11 m³/h = 2,5 h/Block  
 2.100 m³ / 11 m³/h = 191 h ~ 24 AT

Gesamtkosten: 53,1 €/m³ (inkl. Gerätekosten, Lohnkosten und Materialkosten – siehe Abb. 53 )

$$K_{\text{Ges.Unterbeton}} = 53,1 \text{ €/m}^3 \times 2.092,5 \text{ m}^3 = 111,111,8 \text{ €}$$

**CEK 04 - Бетонни работи**

Код на CEK	Видове работи, мярка	Обща цена юли 2009	Gesamtkosten July 2009			
			Lohn	Material	Geräte	Sonstiges
04.007	ПС Фу <i>Herstellen der Unterbetonschicht 10 ЗА ОСНОВИ,</i>	102.60	5.81	79.91	8.96	7.92
04.008	ПОЛАГАНЕ НА НЕАРМИРАН БЕТОН КЛАС В 12.5 ЗА ОСНОВИ, ФУНДАМЕНТИ И НАСТИЛКИ	103.85	5.81	81.16	8.96	7.92
04.009	ПОЛАГАНЕ НА НЕАРМИРАН БЕТОН КЛАС В 20 ЗА ОСНОВИ, ФУНДАМЕНТИ И НАСТИЛКИ	125.30	5.81	102.61	8.96	7.92
04.027	ПОЛАГАНЕ НА НЕАРМИРАН БЕТОН КЛАС В 10 ЗА СТЕНИ С ДЕБЕЛИНА ДО 15 cm	102.71	5.87	79.91	8.96	7.97
04.028	ПОЛАГАНЕ НА НЕАРМИРАН БЕТОН КЛАС В 12.5 ЗА СТЕНИ С ДЕБЕЛИНА ДО 15 cm	103.97	5.87	81.16	8.96	7.97

103,85 BGN/m³ / 1,95583 BGN/€ = 53,10 €/m³

Abb. 53: Ermittlung der Kosten für das Herstellen der Unterbetonschicht nach Handbuch für Baukosten<sup>82</sup>

- Abdichtung

Angabe: 10 m x 9,3 m = 93 m²/Block  
 93 m² x 75 Blöcke = 6.975 m²

Leistung<sup>83</sup>: 100 m²/h

Dauer: 93 m² / 100 m²/h = 9,3 h/Block  
 6.975 m² / 100 m²/h = 70 h ~ 9 AT

Gesamtkosten<sup>84</sup>:

<sup>81</sup> WIESER 2009.

<sup>82</sup> DEENICHINA 2009, S. 104.

<sup>83</sup> Angabe: Fa. ECO Technology GmbH.

<sup>84</sup> Preisangabe: Fa. ECO Technology GmbH.

Lohn:  $K_{\text{Lohn}} = 4 \text{ Mann} \times 2,56 \text{ €/h} \times 70 \text{ h} = 716,80 \text{ €}$

Material:  $4,09 \text{ €/m}^2$

$K_{\text{Material}} = 6.975 \text{ m}^2 \times 4,09 \text{ €/m}^2 = 28.527,75 \text{ €}$

$K_{\text{Ges. Abdichtung}} = 716,80 \text{ €} + 28.527,75 \text{ €} = 29.244,55 \text{ €}$

- Bewehren

Angabe:  $4,2 \text{ t/Block}$

$4,2 \text{ t} \times 75 \text{ Blöcke} = 315 \text{ t}$

Leistung<sup>85</sup>:  $100 \text{ kg/h/Mann}$ ; Gewählt:  $8 \text{ Mann} \rightarrow 0,8 \text{ t/h}$

Dauer: Sohle:  $4,2 \text{ t} / 0,8 \text{ t/h} = 5,3 \text{ h}$

$315 \text{ t} / 0,8 \text{ t/h} = 394 \text{ h} \sim 49 \text{ AT}$

Gesamtkosten:  $0,64 \text{ €/kg}$  (inkl. Gerätekosten, Lohnkosten und Materialkosten)

$K_{\text{Ges. Bewehren}} = 0,64 \text{ €/kg} \times 315 \text{ t} \times 1000 \text{ kg/t} = 201.600,- \text{ €}$

- Betonieren

Angabe:  $10 \text{ m} \times 9,0 \text{ m} \times 0,60 \text{ m} = 54 \text{ m}^3$

$54 \text{ m}^3 \times 75 \text{ Blöcke} = 4.050 \text{ m}^3$

Leistung<sup>86</sup>:  $14 \text{ m}^3/\text{h}$

Dauer:  $54 \text{ m}^3 / 14 \text{ m}^3/\text{h} = 3,9 \text{ h}$

$4.050 \text{ m}^3 / 14 \text{ m}^3/\text{h} = 289 \text{ h} \sim 36 \text{ AT}$

Gesamtkosten:  $72,60 \text{ €/m}^3$  (inkl. Gerätekosten, Lohnkosten und Materialkosten)

$K_{\text{Ges. Beton}} = 72,60 \text{ €/m}^3 \times 4.050 \text{ m}^3 = 294.030,- \text{ €}$

### 5.2.5.2 Wände und Decke

- Spritzbeton – Wände

Angabe:  $2 \times 6,5 \text{ m} \times 10 \text{ m} = 130 \text{ m}^2/\text{Block}$

$130 \text{ m}^2 \times 75 \text{ Blöcke} = 9.750 \text{ m}^2$

<sup>85</sup> BISANI 2006, S.111.

<sup>86</sup> WIESER 2009.

Leistung<sup>87</sup>:  $10 \text{ m}^3/\text{h}$ , Dicke =  $0,125 \text{ m} \rightarrow 80 \text{ m}^2/\text{h}$

Dauer:  $130 \text{ m}^2 / 80 \text{ m}^2/\text{h} = 1,6 \text{ h/Block}$   
 $9.750 \text{ m}^2 / 80 \text{ m}^2/\text{h} = 122 \text{ h} \sim 15 \text{ AT}$

Gesamtkosten:  $20,54 \text{ €/m}^2$  (inkl. Gerätekosten, Lohnkosten und Materialkosten)

$$K_{\text{Ges.Spritzbeton}} = 20,54 \text{ €/m}^2 \times 9.750 \text{ m}^2 = 200.265,- \text{ €}$$

- Abdichtung

Angabe: Wände:  $2 \times 6,5 \text{ m} \times 10 \text{ m} = 130 \text{ m}^2/\text{Block}$   
 $130 \text{ m} \times 75 \text{ Blöcke} = 9.750 \text{ m}^2$   
 Decke:  $10 \text{ m} \times 9,3 \text{ m} = 93 \text{ m}^2/\text{Block}$   
 $93 \text{ m}^2 \times 75 \text{ Blöcke} = 6.975 \text{ m}^2$

Leistung<sup>88</sup>: Wände:  $37,5 \text{ m}^2/\text{h}$   
 Decke:  $100 \text{ m}^2/\text{h}$

Dauer: Wände:  $130 \text{ m}^2 / 37,5 \text{ m}^2/\text{h} = 3,5 \text{ h/Block}$   
 $9.750 \text{ m}^2 / 37,5 \text{ m}^2/\text{h} = 260 \text{ h} \sim 33 \text{ AT}$   
 Decke:  $93 \text{ m}^2 / 100 \text{ m}^2/\text{h} = 9,3 \text{ h/Block}$   
 $6.975 \text{ m}^2 / 100 \text{ m}^2/\text{h} = 70 \text{ h} \sim 9 \text{ AT}$

Gesamtkosten<sup>89</sup>:

Lohn:  $K_{\text{Lohn}} = 4 \text{ Mann} \times 2,56 \text{ €/h} \times 330 \text{ h} = 3.379,20 \text{ €}$

Material: Wände:  $5,62 \text{ €/m}^2$   
 Decke:  $4,09 \text{ €/m}^2$   
 $K_{\text{Material}} = 9.750 \text{ m}^2 \times 5,62 \text{ €/m}^2 + 6.975 \text{ m}^2 \times 4,09 \text{ €/m}^2 = 83.322,75 \text{ €}$   
 $K_{\text{Ges. Abdichtung}} = 3.379,20 \text{ €} + 83.322,75 \text{ €} = 86.701,95 \text{ €}$

- Bewehren

Angabe: Wände:  $7,1 \text{ t/Block}$   
 $7,1 \text{ t} \times 75 \text{ Blöcke} = 533 \text{ t}$   
 Decke:  $5,1 \text{ t/Block}$   
 $5,1 \text{ t} \times 75 \text{ Blöcke} = 383 \text{ t}$

<sup>87</sup> BUJA 2001, S.625.

<sup>88</sup> Angabe: Fa. ECO Technology GmbH.

<sup>89</sup> Preisangabe: Fa. ECO Technology GmbH.

Leistung<sup>90</sup>: 100 kg/h/Mann; Gewählt: 8 Mann → 0,8 t/h

Dauer: Wände: 7,1 t / 0,8 t/h = 8,9 h  
 533 t / 0,8 t/h = 666 h ~ 83 AT  
 Decke: 5,1 t / 0,8 t/h = 6,4 h  
 383 t / 0,8 t/h = 478 h ~ 60 AT

Gesamtkosten: 0,64 €/kg (inkl. Gerätekosten, Lohnkosten und Materialkosten)

$$K_{\text{Ges.Bewehren}} = 0,64 \text{ €/kg} \times (533 \text{ t} + 383 \text{ t}) \times 1000 \text{ kg/t} = 586.240,- \text{ €}$$

- Schalung

Angabe: 2 Stk. Schalwagen

Leistung: Das Aus-/Einschalen erfolgt in einem Tag (angenommen).

Dauer: 10 Mo, 2 AT/Wo (siehe Abb. 3) → 76 AT ~ 608 h

Gesamtkosten<sup>91</sup>:

Lohn:  $K_{\text{Lohn}} = 4 \text{ Mann} \times 3 \text{ €/h} \times 608 \text{ h} = 7.926,- \text{ €}$

Material: Kaufteile: 16.800,- €

Mietteile: 205.000,- €

Technische Bearbeitung: 10.000,- €

Mietsätze: 3,7%

$$K_{\text{Material}} = 2 \times (16.800 \text{ €} + 10.000 \text{ €} + 3,7\% \times 205.000 \text{ €} \times 9 \text{ Mo}) = 190.130,- \text{ €}$$

$$K_{\text{Ges.Schalung}} = 7.926 \text{ €} + 190.130 \text{ €} = 197.426,- \text{ €}$$

- Betonieren

Angabe:  $2 \times 10 \text{ m} \times 4,7 \text{ m} \times 0,50 \text{ m} + 10 \text{ m} \times 9 \text{ m} \times 0,60 \text{ m} = 101 \text{ m}^3$   
 $101 \text{ m}^3 \times 75 \text{ Blöcke} = 7.575 \text{ m}^3$

Leistung<sup>92</sup>: 7 m<sup>3</sup>/h

Dauer:  $47 \text{ m}^3 / 7 \text{ m}^3/\text{h} = 6,7 \text{ h}$   
 $7.575 \text{ m}^3 / 7 \text{ m}^3/\text{h} = 1.082 \text{ h} \sim 135 \text{ AT}$   
 2 Geräte → 68 AT

<sup>90</sup> BISANI 2006, S.111.

<sup>91</sup> Preisangabe: Fa. Peri Bulgaria GmbH.

<sup>92</sup> WIESER 2009.

Gesamtkosten: 72,60 €/m<sup>3</sup> (inkl. Gerätekosten, Lohnkosten und Materialkosten)

$$K_{\text{Ges.Beton}} = 72,60 \text{ €/m}^3 \times 7.575 \text{ m}^3 = 549.945,- \text{ €}$$

### 5.2.5.3 Kostenzusammenstellung - Innenschale

Spritzbeton – Wände	200.265,00 €
Abdichtung	115.941,38 €
Unterbeton	111.111,80 €
Bewehren	787.840,00 €
Schalung	197.426,00 €
Betonieren	843.975,00 €
<b>Summe</b>	<b>2.256.559,18 €</b>

### 5.2.6 Rückfüllung/Verdichtung

Angabe: Masse Aushub = 41.200 m<sup>3</sup><sub>fest</sub> x 1,25 (Auflockerungsfaktor) = 51.500 m<sup>3</sup><sub>lose</sub>

- Ladegerät

Gerätewahl: Hydraulikbagger mit Tieflöffel;

Gewählt: 60 LS/h;

Füllfaktor: 0,9

Gewählter Tieflöffelinhalt: 1,6 m<sup>3</sup>

Ist-Leistung: 60 LS/h x 1,6 m<sup>3</sup> x 0,9 = 86,4 m<sup>3</sup><sub>lose</sub>/h

Dauer:  $D_{\text{erf}} = 51.500 \text{ m}^3_{\text{lose}} / 86,4 \text{ m}^3_{\text{lose}}/\text{h} = 596 \text{ h} \sim 75 \text{ AT} \sim 15 \text{ Wo}$

- Verfuhr

Gerätewahl: Ein LKW soll mit 5÷8 Ladespielen befüllt werden.

Ladespiele	5	8
erf. Ladeinhalt [m <sup>3</sup> <sub>lose</sub> ]	7,20	11,52
erf. Nutzlast [t]	12,10	19,35

Tabelle 24: Gerätewahl Verfuhr

Gewählt: ÖBGL 2922-0265 LKW, Dreiachser mit Kippeinrichtung 19,5 t

Anzahl der LKW's:

Abladen:		3 min
Hinfahrt:	10 km / 35 km/h x 60 min/h	17 min
Beladen:	1,0 min/LS x 7 LS	7 min
Rückfahrt:	10 km / 30 km/h x 60 min/h	20 min
Umlaufzeit:		47 min

1. Stehzeitbedingung:  $n = \frac{T}{t_b} = \frac{47 \text{ min}}{7 \text{ min}} = 7 \text{ Stk}$

2. Stehzeitbedingung

tatsächliche Nutzlast/Lkw =  $7 \text{ LS} \times 1,6 \text{ m}^3_{\text{lose}} / \text{LS} \times 0,9 \times 1,68 \text{ t/m}^3_{\text{lose}}$  } → gewählt 7 Stk  
 = 16,9 t/Lkw

$n = \frac{Q_{\text{la}}}{Q_{\text{tr}}} = \frac{86,4 \text{ m}^3_{\text{lose}} / \text{h}}{\frac{60 \text{ min/h}}{46 \text{ min/Umlauf}} \times \frac{16,9 \text{ t/Lkw}}{1,68 \text{ t/m}^3_{\text{lose}}}} = 7 \text{ Stk}$

LKW				
LKW	ÖBGL	2922-0265	f-AV	0,6
			f-Rep	0,7
LKW	AV-ATS	40.530,00	kW	265
	Rep-ATS	42.460,00		
	AV-€	2.945,43		
	Rep-€	3.085,69		
Summe				
	Summe AV/h	13,49	inkl.GHPI	
	Summe Rep/h	16,49	inkl.GHPI	
	Betriebsstoffe	42,40		
	Schmierstoffe	4,24		
	Fahrer	3,3		
	Kosten/h	79,92	€/h	

Tabelle 25: Kosten LKW

Dauer: Gleiche Dauer wie für Rückfüllung erforderlich!

Gesamtkosten:  $7 \times 79,92 \text{ €/h} / 86,4 \text{ m}^3_{\text{lose}}/\text{h} = 6,47 \text{ €/ m}^3_{\text{lose}}$

$7 \times 79,92 \text{ €/h} / 69,12 \text{ m}^3_{\text{fest}}/\text{h} = 8,09 \text{ €/ m}^3_{\text{fest}}$

$K_{\text{Ges. Voraushub}} = 8,09 \text{ €/ m}^3_{\text{fest}} \times 41.200 \text{ m}^3_{\text{fest}} = 333.458,93 \text{ €}$

## - Einbaugeräte

$q_{e, \text{eff.}} = (F \times f_c \times 3.600 \times \eta_G) / T^{93}$ , wo:

- $q_{e, \text{eff}}$  - Leistung des Einzelgeräts [ $\text{fm}^3/\text{h}$ ]
- F - Schildkapazität (nach Gerätehandbuch) [ $\text{fm}^3$ ]
- $f_c$  - Nutzladungsbeiwert (angenommen: 0,9)
- $\eta_G$  - Geräteausnutzung (angenommen: 0,8)
- T – Spielzeit (angenommen: 50 s)

$$F = (q_{e, \text{eff.}} \times T) / (f_c \times 3.600 \times \eta_G) = (86,4 \text{ m}^3_{\text{lose}}/\text{h} \times 50 \text{ s}) / (0,9 \times 3.600 \times 0,8) = 1,7 \text{ fm}^3$$

Gewählt: Planierraupe, Motorleistung 70 kW

Dauer: Gleiche Dauer wie für das Beladen erforderlich!

Planierraupe			
Planierraupe ÖBGL	3311-0070	f-AV	0,6
		f-Rep	0,7
Planierraupe AV-ATS	53.650,00	kW	70
Rep-ATS	37.000,00		
AV-€	3.898,90		
Rep-€	2.688,89		
Summe			
Summe AV/h	17,86	inkl.GHPI	
Summe Rep/h	14,37	inkl.GHPI	
Betriebsstoffe	11,20		
Schmierstoffe	1,12		
Fahrer	3,3		
Kosten/h	<b>47,85</b>	<b>€/h</b>	

Gesamtkosten:

$$K_{\text{Ges, Einbau}} = 47,85 \text{ €/h} \times 596 \text{ h} = 28.519,35 \text{ €}$$

## - Verdichtung

Gewählt: ÖBGL 3625-0020 Tandemvibrationswalzen

<sup>93</sup> RESCH 2008, S 15.

Tandemvibrationswalzen				
TVW	ÖBGL	3625-0020	f-AV	0,6
			f-Rep	0,7
TVW	AV-ATS	14.090,00	kW	20
	Rep-ATS	10.210,00		
	AV-€	1.023,96		
	Rep-€	741,99		
Summe				
	Summe AV/h	38,41	inkl.GHPI	
	Summe Rep/h	32,47	inkl.GHPI	
	Betriebsstoffe	3,20		
	Schmierstoffe	0,32		
	Fahrer	3,3		
	Kosten/h	77,71	€/h	

Tabelle 26: Kosten Tandemvibrationswalzen

Dauer: Gleiche Dauer wie für Rückfüllung erforderlich!

Gesamtkosten:  $K_{\text{Ges. Voraushub}} = 77,71 \text{ €/h} \times 596,1 \text{ h} = 46.318,56 \text{ €}$

- Kostenzusammenstellung – Rückfüllung/Verdichtung

Einbau	28.519,35 €
Verfuhr	333.458,93 €
<u>Verdichtung</u>	<u>46.318,56 €</u>
<b>Summe</b>	<b>408.296,84 €</b>

### 5.2.7 Ermittlung des Gesamtpreises

Voraushub	267.484,82 €
Bohrpfahlherstellung	1.060.500,00 €
Aushub der Baugrube	566.930,98 €
Aussteifen	323.125,35 €
Innenschale	2.256.559,18 €
<u>Rückfüllung/Verdichtung</u>	<u>408.296,84 €</u>
<b>Bauausführungskosten</b>	<b>4.882.897,11 €</b>
+	
<u>Gewinn+Wagnis: 10%</u>	<u>488.289,71 €</u>
<b>Gesamtpreis</b>	<b>5.371.186,82 €</b>

### 5.3 Baustellengemeinkosten

Die Baustellengemeinkosten werden in folgende Positionen untergliedert:

- einmalige Kosten der Baustelle;
- zeitgebundene Kosten der Baustelle;
- Gerätekosten der Baustelle.

Für das 1. BauLOS wird im Folgenden die Kalkulation der Baustellengemeinkosten angegeben. Den wesentlichen Erklärungen für die Bemessung der Baustelleneinrichtung sind im Punkt 4.4 enthalten. Im Folgenden werden nur die Kostenberechnungen betrachtet.

Die Kosten der für die Transporte eingesetzten Geräte werden pauschal in €/h angegeben und sind Fremdleistungen. In dieser Kalkulation wird folgende Annahme für den MLP getroffen:

- LKW 25,3 €/h (3,3 €/h Lohn / 22,- €/h Gerät);
- Tieflader 32,3 €/h (3,3 €/h Lohn / 29,- €/h Gerät).

#### 5.3.2 Einmalige Kosten

Die einmaligen Kosten umfassen Lohnkosten für Ladearbeiten und für das Auf-, Um- und Abbauen der Baustelleneinrichtung sowie die zugehörigen Stoff-, Transport- und Gerätekosten. Dazu gehören auch die Kosten der Erschließung und Inbetriebsetzung der Baustelle.

- Einrichten der Baustelle

Das Einrichten umfasst die folgende Leistungen – Aufstellen und Einrichten der Container, Einrichtung der Baustellensicherung und Installationen. Installationsarbeiten (Verlegen von Leitungen) sind aufgrund der innerstädtischen Lage der Baustelle kaum zu leisten und werden daher nicht näher betrachtet.

Der Faktor 0,2 bei der Kalkulation der Materialkosten berücksichtigt den Wertverlust während der Vorhaltdauer (fünf Einsätze). Die Aufwands- und Leistungswerte werden aufgrund des Übungsbeispiels – Baustelleneinrichtung<sup>94</sup> angenommen.

---

<sup>94</sup> JODL 2008.

	Anteil Lohn	Anteil Sonstiges	Gesamt
<b>Unterkünfte aufstellen und einrichten</b>			
<u>Aufladen, Transport und Abladen</u>			
<i>Auf- und Abladen</i>			
Aufwandswert: 1 h/Cont			
Lohn: 15 Cont x 1 h/Cont x MLP	50,63		
<i>Transport (inkl. Stehzeit)</i>			
Aufwandswert: 2,2 h/Cont; Tieflader: 32,3 €/h			
Lohn: 15 Cont x 2,2 h/Cont x 3,3 €/h x GZ	122,51		
Gerät: 15 Cont x 2,2 h/Cont x 29 x GZ		1076,63	
<i>für Einrichtung, Material, etc.:</i>			
Aufwandswert: 0,5 h/Cont; LkW: 25,3 €/h			
Lohn: 15 Cont x 0,5 h/Cont x 3,3 €/h x GZ	27,84		
Gerät: 15 Cont x 0,5 h/Cont x 22 x GZ		185,63	
<u>Aufbau</u>			
Aufwandswert: 1,5 h/Cont			
Lohn: 15 Cont x 1,5 h/Cont x MLP	75,94		
<i>Holzstiegen für Containertürme</i>			
Aufwandswert: 16 h/Turm (2 Mann x 8 h)			
Lohn: 2 Türme x 16 h/Turm x MLP	108,00		
Material: Bauholz ~5 m <sup>3</sup>			
5 m <sup>3</sup> x 29 € x GZ		163,13	
Kleinzeug pauschal: 60 € x GZ		67,50	
<u>Anschlüsse, Installationen, Einrichten</u>			
Aufwandswert: 2,5 h/Cont			
Lohn: 15 Cont x 2,5 h/Cont x MLP	126,56		
Material: Diverses 50 €/Cont			
50 €/Cont x 15 Cont x GZ		843,75	
<b>Zwischensumme</b>	<b>511,48</b>	<b>2.336,63</b>	<b>2.848,11</b>
<b>Baustellensicherung</b>			
Aufwandswert: 150 h (2 Mann x 75 h)			
Lohn: 170 x MLP	506,25		
Gerät: 1 LkW mit Hebeeinrichtung, 25,3 €/h			
Lohn: 75 h x 3,3 x GZ	278,44		
Gerät: 75 h x 22 €/h x GZ		1.856,25	
Material: Gitterelement (L= 1500 lfm), 7,3 €/lfm			
1500 lfm x 0,2 x 7,3 €/lfm x GZ		2.463,75	
<b>Zwischensumme</b>	<b>784,69</b>	<b>4.320,00</b>	<b>5.104,69</b>
<b>Installationen</b>			
Strom, Wasser, Telefon			
Anschlussgebühren			
Telefon: 2 x 36 € x GZ		81,00	
Internet: 2 x 15 € x GZ		33,75	
Kanal und Wasser: 350 € x GZ		393,75	
Strom: 375 € x GZ		421,88	
Aufwandswert: 16 h (2 Mann x 8 h)			
Lohn: 16 h x MLP	54,00		
Material: div. Kleinzeug: 75 € x GZ		84,38	
<b>Zwischensumme</b>	<b>54,00</b>	<b>1.014,75</b>	<b>1.068,75</b>
<b>Summe der Preise</b>	<b>1.350,17</b>	<b>7.671,38</b>	<b>9.021,54</b>

Tabelle 27: Ermittlung des Gesamtpreises für Einrichten der Baustelle

- Räumen der Baustelle

Folgende Positionen werden kalkuliert:

- Unterkünfte abbauen und abtransportieren;
- Abbau der Baustellensicherung;
- Abbau der Installationen;
- Beseitigung der Baustellenabfälle.

Für die Beseitigung des Abfalls wird angenommen, dass zwei Mulden notwendig sind. Die Kosten für eine Mulde beträgt ungefähr 120,- €.

	Anteil Lohn	Anteil Sonstiges	Gesamt
<b>Unterkünfte abbauen und abtransportieren</b>			
<u>Aufladen, Transport und Abladen</u>			
<i>Auf- und Abladen</i>			
Aufwandswert: 1 h/Cont			
Lohn: 15 Cont x 1 h/Cont x MLP	50,63		
<i>Transport (inkl. Stehzeit)</i>			
Aufwandswert: 2,2 h/Cont; Tieflader: 32,3 €/h			
Lohn: 15 Cont x 2,2 h/Cont x 3,3 €/h x GZ	122,51		
Gerät: 15 Cont x 2,2 h/Cont x 29 x GZ		1076,63	
<i>für Einrichtung, Material, etc.:</i>			
Aufwandswert: 0,5 h/Cont; LkW: 25,3 €/h			
Lohn: 15 Cont x 0,5 h/Cont x 3,3 €/h x GZ	27,84		
Gerät: 15 Cont x 0,5 h/Cont x 22 x GZ		185,63	
<u>Aufbau</u>			
Aufwandswert: 1,0 h/Cont			
Lohn: 15 Cont x 1,0 h/Cont x MLP	50,63		
<i>Holzstiegen für Containertürme</i>			
Aufwandswert: 16 h/Turm (2 Mann x 8 h)			
Lohn: 2 Türme x 16 h/Turm x MLP	108,00		
<u>Anschlüsse, Installationen, Einrichten</u>			
Aufwandswert: 2,0 h/Cont			
Lohn: 15 Cont x 2,0 h/Cont x MLP	101,25		
<b>Zwischensumme</b>	<b>460,86</b>	<b>1.262,25</b>	<b>1.723,11</b>
<b>Abbau der Baustellensicherung</b>			
Aufwandswert: 150 h (2 Mann x 85 h)			
Lohn: 150 x MLP	506,25		
Gerät: 1 LkW mit Hebeeinrichtung, 25,3 €/h			
Lohn: 75 h x 3,3 x GZ	278,44		
Gerät: 75 h x 22 €/h x GZ		1856,25	
<b>Zwischensumme</b>	<b>784,69</b>	<b>1.856,25</b>	<b>2.640,94</b>
<b>Abbau der Installationen</b>			
Aufwandswert: 16 h (2 Mann x 8 h)			
Lohn: 16 x MLP	573,75		
<b>Zwischensumme</b>	<b>573,75</b>	<b>0,00</b>	<b>573,75</b>
<b>Beseitigung der Baustellenabfälle</b>			
pauschal: 1 Mulde entsorgen: ca. 120 €			
2 Mulden x 120 €/Mulde x GZ		270,00	
<b>Zwischensumme</b>	<b>0,00</b>	<b>270,00</b>	<b>270,00</b>
<b>Summe der Preise</b>	<b>1.819,29</b>	<b>3.388,50</b>	<b>5.207,79</b>

Tabelle 28: Ermittlung des Gesamtpreises für Räumen der Baustelle

### 5.3.3 Durchschnittliche zeitgebundene Vorhaltekosten der Baustelle

Die zeitgebundenen Kosten der Baustelle umfassen die kompletten Personalkosten, der bei der Durchführung des Auftrages eingesetzten Angestellten (Bauleiter, Techniker, Polier) sowie des unproduktiven Personals (Bewachung, Reinigung u.s.w) und die Kosten für den Betrieb der Baustelle mit allen Räumlichkeiten und Unterkünften (Bürokosten, Wasser, Strom, Telefon). Unter zeitgebundene Lohnkosten versteht man Löhne für Tätigkeiten, die nicht Einzelleistungen zugeordnet werden können, sondern während der gesamten Baudauer anfallen. Die Bauzeit ist aus dem Bauzeitplan ersichtlich und beträgt 16 Monate.

Folgende Neuwerte werden zur Ermittlung der Abschreibung und Verzinsung der Einrichtungen in der Bauleitung und in den Unterkünften angenommen.

Neuwert der Einrichtung Unterkünfte	1.000,00 €
Neuwert der Einrichtung Bauleitung	1.000,00 €
<b>Summe</b>	<b>2.000,00 €</b>
5 Computer (500 €/Stk)	2500 €
2 Kopier & Faxgerät (400 €/Stk)	800 €
2 Telefonanlage	200 €
<b>Summe</b>	<b>3.500,00 €</b>

Die Leistungen der Kleingeräte und der Verbrauch der Geräte in der Bauleistung und in den Unterkünften ergeben sich aus der Bemessung des Wasser- und Strombedarfes (siehe Punkt 4.4). Der Preis für Wasser ist 0,92 €/m<sup>3</sup><sup>95</sup> und für Strom - 0,06 €/kWh<sup>96</sup>.

Die Transportkosten der Baustelle sind zeitabhängig. Es werden zwei Versorgungsfahrten pro Woche kalkuliert.

<sup>95</sup> Homepage: [www.sofiyskavoda.bg](http://www.sofiyskavoda.bg), 2009.

<sup>96</sup> Homepage: [www.cez.bg](http://www.cez.bg), 2009.

	Anteil Lohn	Anteil Sonstiges	Gesamt
<b>Gehaltskosten der Angestellten</b>			
Bauleiter Gehalt: 2000 €/Mo x 1 x 16 Mo x GZ	36.000,00		
Polier Gehalt: 1200 €/Mo x 2 x 16 Mo x GZ	43.200,00		
<b>Zwischensumme</b>	<b>79.200,00</b>	<b>0,00</b>	<b>79.200,00</b>
<b>unproduktive Lohnkosten</b>			
Magaziner Lohn: 2,0 x 172 h/Mo x 16 Mo x GZ	6.192,00		
Laborant Lohn: 2,5 x 172 h/Mo x 16 Mo x GZ	7.740,00		
Reinigungsfachkraft Lohn: 1,5 €/h, Einsatz 20 h/Mo 2,0 €/h x 20 h/Mo x 16 Mo x GZ	540,00		
<b>Zwischensumme</b>	<b>14.472,00</b>	<b>0,00</b>	<b>14.472,00</b>
<b>Monatliche Kosten für Strom, Wasser (inkl. Wasserentsorgung)</b>			
Strom: (100 kW x 172 h/Mo x 6 Mo +100 kW x 241 h/Mo x 10 Mo) x 0,6 x 0,06 €/kWh x GZ		13.940,10	
Wasser: Bedarf ca.5,36 m³/AT 5,36 m³/AT x 418 AT x 0,92 €/m³ x GZ		2.318,90	
<b>Zwischensumme</b>	<b>0,00</b>	<b>16.259,00</b>	<b>16.259,00</b>
<b>Bürokosten</b>			
Telefon / Internet: Gebühren: 65 €/Mo x 2 x 16 Mo x GZ Bürobedarf: 50 €/Mo x 16 Mo x GZ		2.340,00 900	
<b>Zwischensumme</b>	<b>0,00</b>	<b>3.240,00</b>	<b>3.240,00</b>
<b>Abschreibung der Einrichtung</b>			
NW der Einrichtung: 2.000 € monatl. AV: 2,2% monatl. Rep: 1,0%		792,00	
AV: 2.000 € x 0,022 x 16 Mo x GZ	180,00		
Rep-L: 2.000 € x 0,01 x 0,5 x 16 Mo x GZ		180,00	
Rep-S: 2.000 € x 0,01 x 0,5 x 16 Mo x GZ			
NW der Einrichtung: 3.500 € monatl. AV: 2,8% monatl. Rep: 0,6%		1.764,00	
AV: 3.500 € x 0,028 x 16 Mo x GZ	189,00		
Rep-L: 3.500 € x 0,006 x 0,5 x 16 Mo x GZ		189,00	
Rep-S: 3.500 € x 0,006 x 0,5 x 16 Mo x GZ			
<b>Zwischensumme</b>	<b>369,00</b>	<b>2.925,00</b>	<b>3.294,00</b>
<b>Transportkosten zur Versorgung der Baustelle</b>			
NW der Einrichtung: 2.000 € pro Monat: 8 Fahrten x 2,5 h/Fahrt = 20 h; LkW: 25,3 €/h Lohn: 20 h x 16 Mo x 3,3 €/h x GZ Gerät: 20 h x 16 Mo x 22 €/h x GZ	1.188,00	7.920,00	
<b>Zwischensumme</b>	<b>1.188,00</b>	<b>7.920,00</b>	<b>9.108,00</b>
<b>Summe der Preise</b>	<b>95.229,00</b>	<b>30.344,00</b>	<b>125.573,00</b>

Tabelle 29: Ermittlung des Gesamtpreises

### 5.3.4 Gerätekosten der Baustelle

Die Gerätekosten umfassen die Kosten für Abschreibung und Verzinsung sowie Instandhaltung der Geräte, wenn diese Kosten nicht als Einzelgerätekosten in den Leistungspositionen erfasst sind.

Die monatlichen AV- und Rep-Kosten sind in der folgenden Tabelle dargestellt. In Anlehnung an die ÖBGL werden die monatliche AV mit 1,8% bzw. 2,2% und das monatliche Reparaturentgelt mit 0,8% bzw. 1,2% abgeschätzt.

Menge	Bezeichnung	Neuwert <sup>97</sup>	AV [%]	Rep [%]	monatl. AV	monatl. Rep	monatl. AV x Menge	monatl. Rep x Menge
4	Bürocontainer 10'	3.100,00	1,8	0,8	55,80	24,80	223,2	99,2
6	Bürocontainer 20'	3.980,00	1,8	0,8	71,64	31,84	429,84	191,04
3	Sanitärcontainer 8'	2.550,00	2,2	1,2	56,10	30,60	168,3	91,8
1	Sanitärcontainer 16'	8.100,00	2,2	1,2	178,20	97,20	178,2	97,2
1	Lagercontainer 20'	2.780,00	1,8	0,8	50,04	22,24	50,04	22,24

Tabelle 30: Ermittlung der Kosten – AV und Rep. für die gewählten Container

Tabelle 31 enthält eine Auflistung sämtlicher Vorhaltegeräte. In der Tabelle 32 wird der Gerätekosten ermittelt.

<sup>97</sup> Preisangabe: Fa. Container Handelsgesellschaft m.b.H.

Menge	Bezeichnung	ÖBGL-Nr.	monatl. AV/Stk.	monatl. Rep/Stk.	monatl. AV/Stk. x GHPi x AbmFak]	monatl. Rep/Stk. [€ x GHPi x AbmFak]	monatl. AV x Menge	monatl. Rep x Menge	Verr. Monate	AV ges.	Rep. ges
2	Mobilkran	2147-0025	60.300,00	40.200,00	3.452,28	2.685,10	6.904,55	5.370,21	16	110.472,80	85.923,29
2	Innenvibrator	1816-0090	1.060,00	720,00	60,69	48,09	121,37	96,18	10	1.213,74	961,83
2	Vibrationsbohle	1832-0040	1.330,00	910,00	76,14	60,78	152,29	121,56	10	1.522,89	1.215,64
2	Baustellen - KFZ	2901-0000	5.000,00	4.000,00	286,26	267,17	572,52	534,35	16	9.160,27	8.549,58
1	Anschlusschrank	7701-0250	1.380,00	765,00	79,01	51,10	79,01	51,10	16	1.264,12	817,55
3	Verteilerschrank	7703-0250	1.590,00	885,00	91,03	59,11	273,09	177,34	16	4.369,45	2.837,39
1	Betonstahlschere	9162-0020	500,00	300,00	28,63	20,04	28,63	20,04	16	458,01	320,61
1	Handschalungsreiniger	9217-0150	405,00	221,00	23,19	14,76	23,19	14,76	16	370,99	236,18
1	Hochdruckreiniger	9330-0025	630,00	364,00	36,07	24,31	36,07	24,31	10	360,69	243,13
2	Bürocontainer 10'	-	-	-	-	-	223,20	99,20	16	3.571,20	1.587,20
7	Bürocontainer 20'	-	-	-	-	-	429,84	191,04	16	6.877,44	3.056,64
3	Sanitärcontainer 8'	-	-	-	-	-	168,30	91,80	16	2.692,80	1.468,80
1	Sanitärcontainer 16'	-	-	-	-	-	178,20	97,20	16	2.851,20	1.555,20
1	Lagercontainer 20'	-	-	-	-	-	50,04	22,24	16	800,64	355,84
1	Nivelliergerät	9501-0019	176,00	66,00	10,08	4,41	10,08	4,41	16	161,22	70,53
1	Theodolite	9505-0300	1.330,00	498,00	76,14	33,26	76,14	33,26	16	1.218,32	532,21
20	Arbeitsbühnen [lfm]		39,00	30,00	2,23	2,00	44,66	40,08	10	446,56	400,76
									<b>Summe</b>	<b>147.812,33</b>	<b>110.132,40</b>

Tabelle 31: Ermittlung der Kosten für die Vorhaltegeräte

	Anteil Lohn	Anteil Sonstiges	Gesamt
AV gesamt		147.812,33	
Aufteilung Rep. 50% Lohn und 50% Sonstiges	55.066,20	55.066,20	
Gerätekosten gesamt	55.066,20	202.878,52	
Gesamtzuschlag	6.883,27	25.359,82	
<b>Gerätepreis insgesamt</b>	<b>61.949,47</b>	<b>228.238,34</b>	<b>290.187,81</b>

Tabelle 32: Ermittlung der Gerätepreis

### 5.3.5 Baustellengesamtpreis

	Anteil Lohn	Anteil Sonstiges	Gesamt
Einrichten	1.350,17	7.671,38	9.021,54
Räumen	1.819,29	3.388,50	5.207,79
Zeitgebundene Geräte	95.229,00	30.344,00	125.573,00
Geräte	61.949,47	228.238,34	290.187,81
<b>Summe</b>	<b>160.347,93</b>	<b>269.642,21</b>	<b>429.990,15</b>

Tabelle 33: Baustellengesamtpreis

## 5.4 Zusammenstellung des Herstellungspreises

Der Gesamtpreis zuzüglich der MwSt ist der Angebotspreis.

Bauausführung	5.371.186,82 €
<u>Baustelleneinrichtung</u>	<u>429.990,15 €</u>
Gesamtpreis	5.801.176,95 €
+	
<u>MwSt: 20%</u>	<u>1.160.235,39 €</u>
<b>Angebotspreis</b>	<b>6.961.412,36 €</b>

## 6 GEGENÜBERSTELLUNG

### 6.1 Allgemein

Im Folgenden werden die in den Diplomarbeiten „Variantenstudie - Deckelbauweise mit Schlitzwänden“ und „Variantenstudie – offene Bauweise mit Bohrpfahlwänden“ untersuchten Ausführungsmöglichkeiten der U-Bahnanbindungsstrecke in Sofia gegenübergestellt. Die Variante B der Anbindungsstrecke ist Gegenstand dieser Arbeit. Variante A („Variantenstudie - Deckelbauweise mit Schlitzwänden“) wurde von Rositsa Temelakieva, Matr. N 0427338 untersucht. Als Basis der Gegenüberstellung werden:

- die Lage und die Länge der Anbindungsstrecken;
- die verwendeten Regelquerschnitte der untersuchten Baulose;
- die eingesetzten Bauweisen;
- die Hauptbauarbeiten;
- der Materialbedarf;
- die Baustelleneinrichtungen;
- die Kosten

genauer betrachtet.

Die hierfür notwendigen Daten werden den oben angegebenen Diplomarbeiten entnommen.

Beide Varianten der Anbindung führen zur bereits bestehenden Station 11 „G. M. Dimitrov“ der U-Bahnlinie 1. Die geplante Verlängerung beinhaltet drei Stationen und verbindet „Studentski grad“ mit dem Stadtzentrum.

Die untersuchten Varianten unterscheiden sich hinsichtlich der Gesamtlänge und der Aushubtiefen:

	<u>Variante A</u>	<u>Variante B</u>
Gesamtlänge	3.230 m	3.450 m
minimale Aushubtiefe	2,30 m	0,00 m
durchschn. Aushubtiefe	9,40 m	9,50 m
maximale Aushubtiefe	15,30 m	13,60 m

Die Anbindungsstrecke der Variante B ist um 220 m länger als jene der Variante A. Trotz der tieferen Lage am Streckenende der Variante A weisen beiden Varianten annähernd gleiche durchschnittlichen Aushubtiefen auf.

Die Kostenermittlung erfolgte bei Variante B für das 1. Baulos (vgl. Pkt. 5), welches in offener Bauweise herzustellen ist. Bei Variante A wurden die Kosten für das 3. Baulos (Deckelbauweise) ermittelt.

Für die Tunnelausführung sind vier Regelquerschnitte (RQ 0, RQ 1, RQ 2, RQ 3) vorgesehen, wobei der vierte Regelquerschnitt (RQ 3) in der Variante B nicht zur Anwendung kommt. Die Tunnelstrecke wird im RQ 0 und RQ 1 ausgeführt. Die Stationen der Variante B und die erste zwei Stationen der Variante A werden im RQ 2 ausgeführt. Auf Grund der tieferen Lage der dritten Station der Variante A wird für diese der RQ 3 verwendet. Eine Übersicht der Einsatzlängen der Regelquerschnitte für beide Varianten wird in der Tabelle 34 angegeben.

Querschnittsvariante		Einsatzlänge [m]						
		RQ 0	RQ 1				RQ 2	RQ 3
Ausführungsvariante		-	1.1	1.2	1.3	1.4	-	-
Linienvariante	A	400	1.000	360	720	240	340	170
	B	80	570	480	900	910	510	-

Tabelle 34: Einsatzlänge der Regelquerschnitte für beide Variante

## 6.2 Baubetrieb

### 6.2.1 Eingesetzte Bauweisen

Die geplante U-Bahnverlängerung wird sowohl in offener Bauweise, als auch in Deckelbauweise hergestellt. Die geologischen Verhältnisse und die Seichtlage des Tunnels ermöglicht die Verwendung dieser Bauweisen. Die Einsatzlängen der offenen, bzw. Deckelbauweise werden im Folgenden angegeben:

	<u>Variante A</u>	<u>Variante B</u>
Offene Bauweise	2.270 m	1.640 m
Deckelbauweise	960 m	1.810 m
Baulose	3	3
Längen 1. Baulos	970 m	920 m
2. Baulos	1.230 m	1.180 m
3. Baulos	1.030 m	1.350 m

Bei der offenen Bauweise bleibt die Baugrube bis zur Fertigstellung des Tunnels offen. Im Gegensatz ist bei der Deckelbauweise innerhalb kürzester Zeit die ursprüngliche Nutzung der Geländeoberfläche im Bereich der Tunnelachse wieder möglich (siehe Abb. 54).

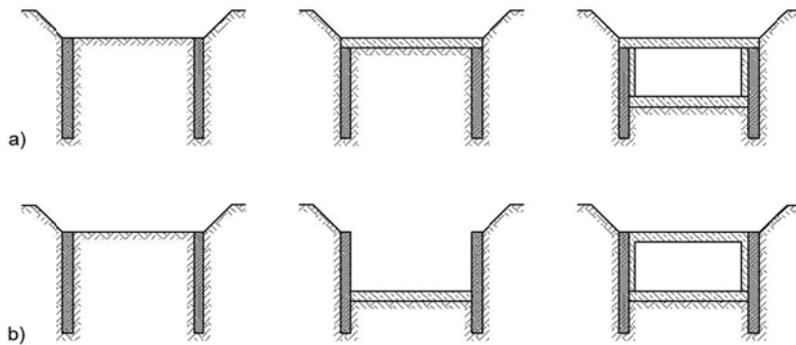


Abb. 54: Schematische Darstellung der Arbeitsschritte – a) Deckelbauweise; b) offene Bauweise

Der Aushub erfolgt in der Deckelbauweise unter dem Deckel. Dies führt zu erschwerten bzw. längeren unterirdischen Ver- und Entsorgungswege. Gleichzeitig sind jedoch die Arbeiten keiner Witterung angesetzt. Ein großer Vorteil der Deckelbauweise ist die verminderte Staub- und Lärmemission während der gesamten Bauzeit. Vorteil der offenen Bauweise ist der leichte Einsatz von Kranen, bzw. die leichte Ver- und Entsorgung der Baustelle.

Der Deckel dient als Kopfsteife, d.h. horizontale Erdlasten, die auf die Schlitz-/Bohrpfahlwand wirken, müssen nicht durch temporäre Aussteifung aufgenommen werden sondern werden direkt in den Deckel eingeleitet. Eine temporäre Aussteifung bei offener Bauweise ist bei tieferer Lage des Tunnels fast immer notwendig.

Die Tunnelkonstruktion kann in beiden Bauweisen ein- bzw. zweischalig ausgeführt werden. Besonderes Augenmerk ist auf den Anschluß des Deckels an die Wände zu legen.

Aufbauend auf den Baubetrieb und die Bauverfahrenstechnik der in der Diplomarbeiten gewählten Baulose (Variante A – 3. Baulos und B – 1. Baulos) werden die offene Bauweise und die Deckelbauweise im Folgenden gegenübergestellt. Es werden die einzelnen Arbeitsschritten, die Mengen der wichtigsten Baumaterialien und die Kosten verglichen. In der Abb. 55 wird die Lage der in den Diplomarbeiten betrachteten Baulose angegeben.

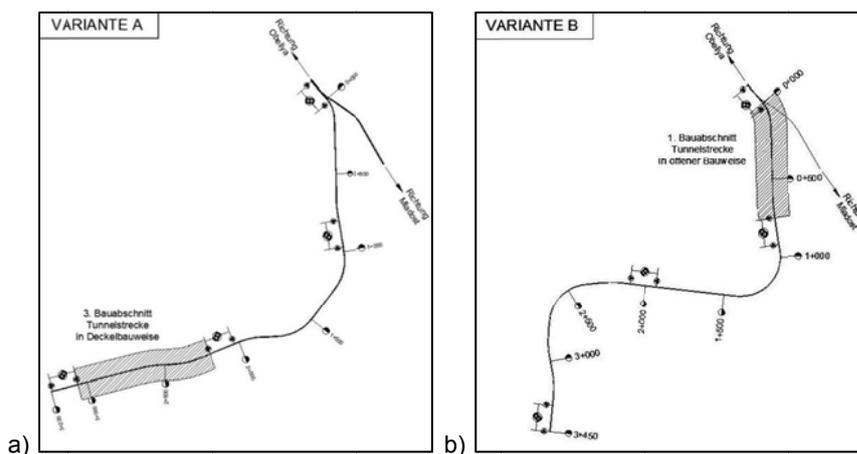


Abb. 55: Lage der betrachteten Baulosen – a) Variante A – 3. Baulos (Deckelbauweise); b) Variante B – 1. Baulos (offene Bauweise)

## 6.2.2 Bauarbeiten

**Aushub:** Entlang der Trasse wird für beide Varianten ein Voraushub mit einer Tiefe bis 3 m vorgesehen. Die Böschungsneigung beträgt 1:0,75. Es werden waagerechte Schutzstreifen (0,5 m) am Rand der Baugrube angeordnet.

Je nach der Bauweise werden für den Aushub Bagger mit verschiedenen Ausrüstungen und Abmessungen eingesetzt. Bei der Deckelbauweise erfolgt der unterirdische Aushub mittels Tunnelbagger. Bei der offenen Bauweise wird das Bodenmaterial mittels Hydraulikbagger auf Raupen mit gleichzeitiger Anordnung von Aussteifungselemente (Stahlrohre) ausgehoben. In der Abb. 56 werden die eingesetzten Bagger dargestellt.

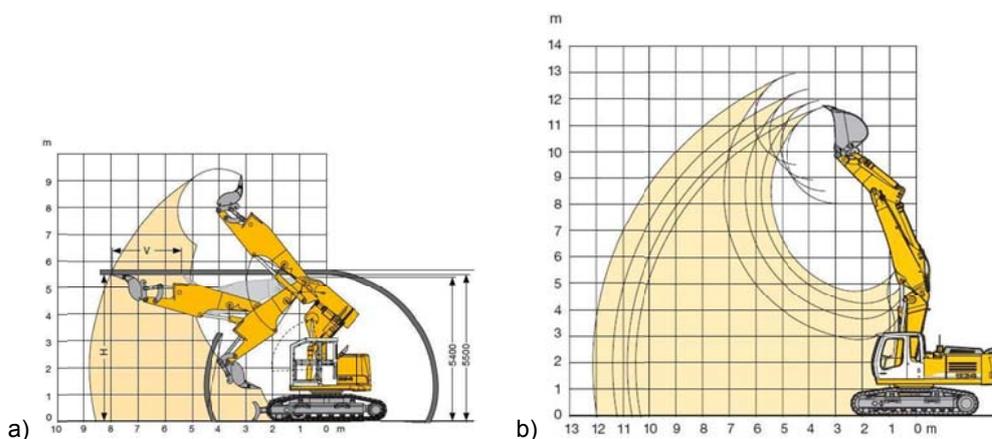


Abb. 56: Bagger – a) Tunnelbagger<sup>98</sup>; b) Hydraulikbagger auf Raupen<sup>99</sup>

**Verbauwände:** Aufgrund der Tieflage des Tunnels und der geologischen Randbedingungen wurde als Verbauwände Schlitzwände (Variante A – Deckelbauweise) und aufgelöste Pfahlwände (Variante B – offene Bauweise) gewählt. Die Schlitzwand wird in Greiferverfahren aus Ortbeton ausgeführt. Die Pfahlwand wird aus Ortbeton mit durchgehender Schnecke hergestellt.

Aufgrund der Wirtschaftlichkeit und der Lage des Grundwasserspiegels unter der Baugrubensohle wird die Pfahlwand als aufgelöste Wand ausgeführt.

Eine wasserdichte Ausführung von Pfahlwänden ist problematischer als bei Schlitzwänden. Selbst die überschnittene Bohrpfahlwand ist aufgrund der großen Anzahl von vertikalen Arbeitsfugen nur bedingt, d.h. für die Bauzeit ausreichend wasserundurchlässig herzustellen.<sup>100</sup>

<sup>98</sup> Firmenprospekt: R 924 Compact Tunnelgerät, Liebherr International Deutschland GmbH 2008.

<sup>99</sup> Firmenprospekt: Liebherr International Deutschland GmbH 2008.

<sup>100</sup> BALDAUF 1988, S. 321.

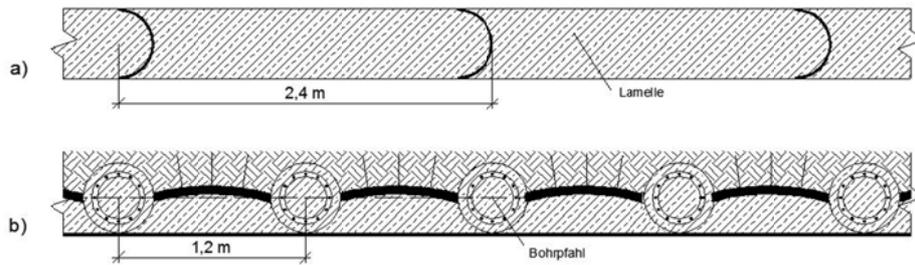


Abb. 57: Verbauwand – a) Schlitzwand; b) Bohrpfahlwand

Für die Herstellung der Verbauwände werden zunächst Leitwände aus Ortbeton hergestellt. Die Leitwände, die bei der Pfahlwandherstellung Bohrschablonen genannt werden, führen den Schlitzwandgreifer bzw. die durchgehende Schnecke beim Abteufen. Leitwände der Schlitzwandherstellung haben auch die Aufgabe den Bewehrungskorb und die Abschalrohre seitlich zu halten. Zusätzlich sichern die Leitwände den obersten Schlitzbereich, wo kein ausreichender hydrostatische Druck der Schützsuspension vorhanden ist, vor Einbrüchen.

Das Ausheben des Bodenmaterials erfolgt diskontinuierlich beim Schlitzwandherstellen mittels Greiferverfahren, bzw. kontinuierlich beim Bohrpfahlverfahren mit durchgehender Schnecke. Beim Schlitzwandverfahren wird die Standsicherheit des Erdschlitzes durch die Stützflüssigkeit garantiert. Die Stützung der Bohrlochwand erfolgt durch die, mit Boden gefüllte, Bohrschnecke. Bei der Schlitzwandherstellen müssen Abstellkonstruktionen zwischen den einzelnen Lamellen eingebracht werden. Zusätzlich ist eine Suspensionsanlage auf der Baustelle einzurichten. In der Abb. 58 sind die eingesetzten Geräte für die Herstellung einer Schlitzwand und in der Abb. 59 die Geräte für die Pfahlwandherstellung dargestellt.



Abb. 58: Geräte für die Herstellung der Schlitzwand – a) Hydraulik-Seilbagger mit Greifer; b) Bentonitanlage

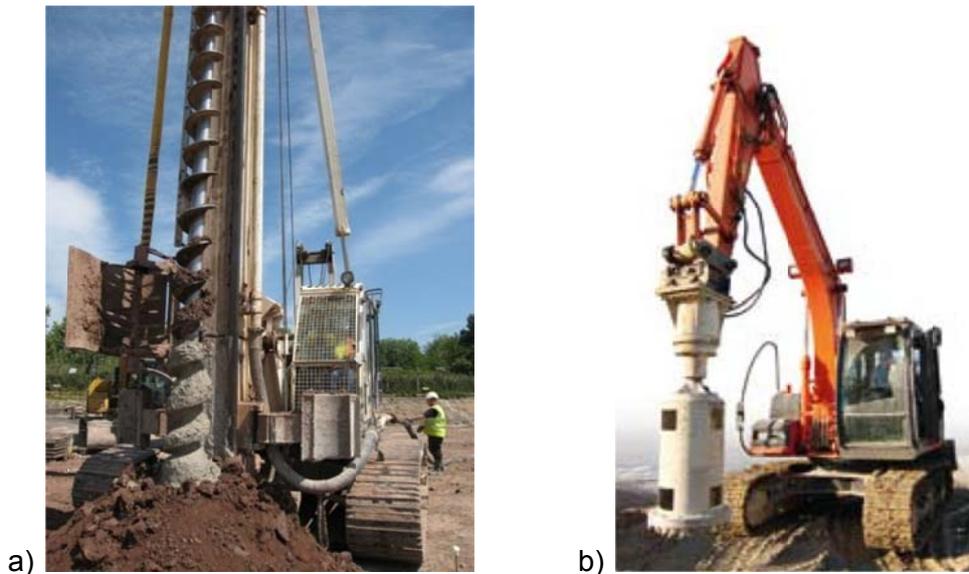


Abb. 59: Geräte für die Herstellung der Bohrpfahlwand – a) Trägergerät mit durchgehender Schnecke; b) Pfahlkopfräse

Das Erstellen der Schlitzwand erfolgt im Pilgerschrittverfahren (zeitoptimiertes Verfahren). Die einzelnen Bohrpfähle werden nacheinander ausgeführt. Für das Herstellen der Schlitzwände und der Bohrpfahlwände werden jeweils zwei Geräte eingesetzt. Die Mannschaft für die Herstellung einer Verbauwand besteht aus 1 Maschinisten, 2 Betonierarbeiter und 2 Helfer.

Die Bewehrung der Schlitzlamelle wird in Körben eingebaut. Die Lamelle wird im Kontraktorverfahren betoniert. Im Gegensatz dazu wird der Bewehrungskorb des Bohrpfahls in den Frischbeton gerüttelt. Das Betonieren geschieht direkt durch das Seelenrohr, das sich in der Mittelachse der Bohrschnecke befindet. Die im Bewehrungskorb eingesetzten Bewehrungsarten sind in der Abb. 60 für die beiden Verbauwände angegeben.

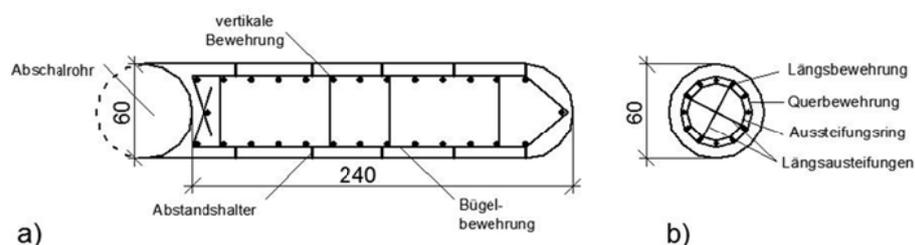


Abb. 60: Querschnitt des Bewehrungskorbes – a) Schlitzlamelle; b) Bohrpfahl

Der für die Verbauwände verwendete Stahl BSt 500 entspricht der EN 10 080. Der Beton verfügt über eine Festigkeitsklasse von C30/37. In der Tabelle 35 wird der Materialaufwand beider Verbauwände angegeben.

Materialaufwand	Verbauwände	
	Schlitzwand	Bohrpfahlwand
Bewehrung	0,10 t/lfm	0,05 t/lfm
Beton	1,44 m <sup>3</sup> /lfm	0,28 m <sup>3</sup> /lfm

Tabelle 35: Übersicht über den Materialaufwand der Verbauwände

Die Leistung und die Kosten für die Herstellung der Schlitzwand und der Bohrpfahlwand sind in der Tabelle 36 angegeben.

	Schlitzwand	Bohrpfahlwand
Abmessungen	0,6 x 2,4 m	Ø 0,6 m
Tiefe	< 15 m	< 15 m
Leistung	10 m <sup>2</sup> /h	10 m/h
Kosten	227,00 €/m <sup>2</sup>	75,75 €/lfm

Tabelle 36: Wesentliche Daten für die Herstellung der Schlitz-/Bohrpfahlwand<sup>101</sup>

Innenschale: Die Innenschale wird in Längsrichtung in Betonierabschnitte von 10 m unterteilt. Bei der Variante A wird zunächst die Sohlplatte fertiggestellt. Das Herstellen der Wände der Innenschale erfolgt im Schutz des Deckels mittels Schalwagen. Bei der Ausführung der Variante B läuft die Sohle um einige Betonierabschnitte voraus. Die Wände und die Decken werden mittels Schalwagen in einem Guss in offener Baugrube betoniert. Die Position der Schalwagen entlang der Baustrecke wird für beide Varianten in der Abb. 61 schematisch dargestellt.

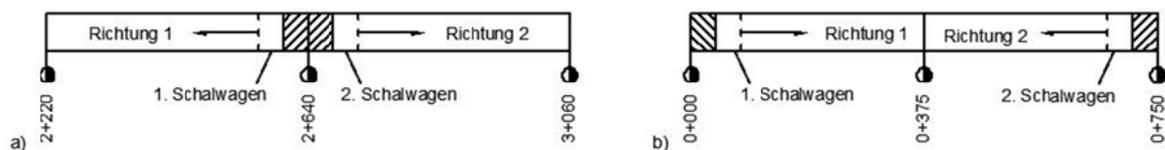


Abb. 61: Position der Schalwagen entlang der Trasse – a) Variante A; b) Variante B

Die Tunnelstrecken werden mit zwei Schalwagen ausgeführt. Beide Schalwagen sind gleichzeitig im Einsatz. Die Einsatzdauer und die Kosten der Schalwagen sind wie folgt:

	<u>Variante A – 3. Baulos</u>	<u>Variante B – 1. Baulos</u>
Dauer	5 Mo	9 Mo
Kosten <sup>102</sup>	112,7 €/lfm	263,3 €/lfm

<sup>101</sup> Angabe: Fa. Bauer Bulgaria EOOD.

<sup>102</sup> Angabe: Fa. Peri Bulgaria EOOD.

Der Kosten- bzw. Zeitenunterschied zwischen den untersuchten Varianten wird durch den unterschiedlichen Schalwagentyp verursacht. In der Variante A sind die Schalwagen nur für die Herstellung der Wände notwendig.

In einem Wochentakt (Schalen, Bewehren, Betonieren) werden je Richtung bei der Variante A zwei Blöcke und bei der Variante B ein Block hergestellt. Das Herstellen der Innenschale erfolgt in einer siebentägigen Arbeitswoche mit einem Ruhetag für die Betoniermannschaft und Bewehrungsmannschaft. Abb. 62 zeigt schematisch einen Wochentakt jeweils für Variante A und B.

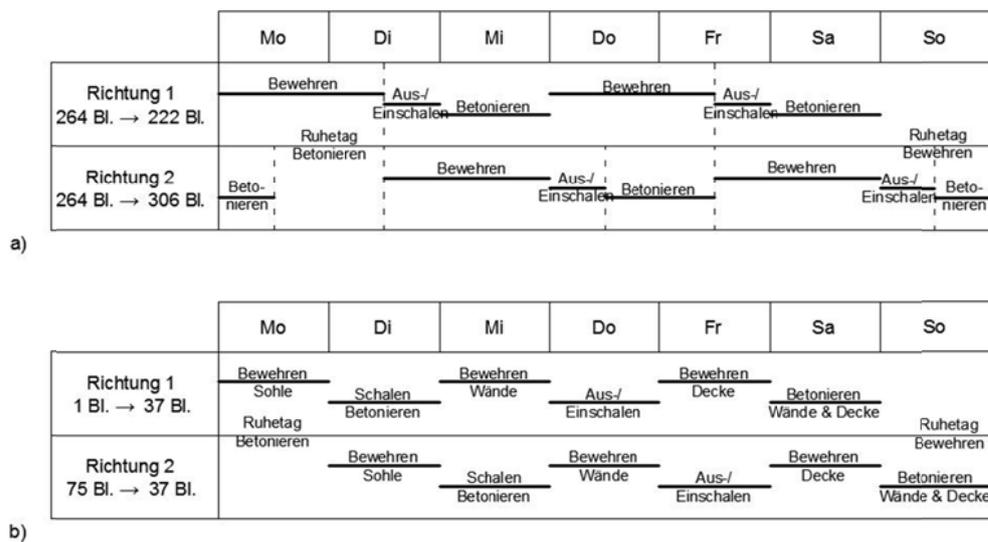


Abb. 62: Arbeitsablauf im Wochentakt – a) Variante A; b) Variante B

Bei beiden Bauweisen wird das Tunnelbauwerk mit einer Arbeitsfuge zwischen Wand und Sohle hergestellt. In der Deckelbauweise entsteht auch einer Arbeitsfuge zwischen Wänden und Decke.

Bei der Variante A werden die Betonarbeiten an der Innenschale über Betonpumprohre von der Geländeoberfläche aus mit Beton versorgt. Der durchschnittliche Bewehrungs- und Betonverbrauch bei der Herstellung der Innenschalen (Sohle, Wände und Decke bzw. Deckel) wird in Tabelle 37 dargestellt.

Materialaufwand	Innenschale	
	Sohle, Wände, Decke (Deckel)	
	Variante A -3. Baulos	Variante B – 1. Baulos
Bewehrung	1,99 t/lfm	1,64 t/lfm
Beton	15,5 m <sup>3</sup> /lfm	15,5 m <sup>3</sup> /lfm

Tabelle 37: Übersicht über den Materialaufwand der Innenschale

Für die Beton- und Bewehrungsarbeiten, sowie für das Verlegen der Abdichtung wurden in beiden Varianten gleiche Leistungs- und Kostenansätze aus der Literatur angenommen.

### 6.2.3 Materialbedarf

Im Folgenden werden die Menge der wichtigsten Baumaterialien beider Varianten für die gesamte U-Bahnverlängerung aufgelistet.

	<u>Variante A - Gesamt</u>	<u>Variante B - Gesamt</u>
Länge	3.230 m	3.450 m
Erdarbeiten:	~ 519.300 m <sup>3</sup>	~ 542.000 m <sup>3</sup>
Beton:	~ 102.900 m <sup>3</sup>	~ 82.800 m <sup>3</sup>
Bewehrung:	~ 13.400 t	~9.300 t
Stahlrohre	283 x 325/14 125 x 325/45	408 x 325/14 100 x 325/60
TITAN IBO Anker	284 x 40/20	214 x 40/20
Schalwagen <sup>103</sup> :	3 (9) Stk.	3 (9) Stk.

Der Typ der Verbauwände bestimmt den Unterschied zwischen den Varianten beim Beton- und Bewehrungsverbrauch. Der Betonverbrauch der Variante B ist um ca. 25% kleiner jener der Variante A. Der Bewehrungsverbrauch der Variante B ist um ca. 45% kleiner. Im Folgenden werden die Massen / Mengen für die in den Diplomarbeiten untersuchten Baulose angegeben:

	<u>Variante A</u>	<u>Variante B</u>
<b>Gew. Baulos</b>	3. Baulos	1. Baulos
Länge	840 m	750 m
Erdarbeiten:	~ 125.250 m <sup>3</sup>	~ 125.000 m <sup>3</sup>
Beton:	~ 27.200 m <sup>3</sup>	~ 16.000 m <sup>3</sup>
Bewehrung:	~ 3.700 t	~ 2.000 t
Stahlrohre	50 x 325/45	156 x 325/14 100 x 325/60
Schalwagen:	2 Stk.	2 Stk.

<sup>103</sup> Beim nacheinander Herstellen der Baulosen werden nur 3 Stk. Schalwagen (2 Stk. für die Tunnelstrecke und 1 Stk. für die Station) eingesetzt. Es kommen zum Einsatz 9 Stk. Schalwagen, wenn die drei Baulosen gleichzeitig ausgeführt werden.

### 6.2.4 Baustelleneinrichtung

Die auf der Baustelle eingesetzten Großgeräte werden für beide Varianten in der Tabelle 38 angegeben.

Geräte	Variante A 3. Baulos	Variante B 1. Baulos
Hydraulikbagger auf Raupen	3	4
Hydro-Seilbagger mit Greifer	2	-
Drehbohranlage mit langer Schnecke	-	2
Suspensionanlage	1	-
Tunnelbagger	1	-
Betonspritzgerät	1	1
Kleinbohrgerät	-	1
LKW	16	8
Tandemvibrationswalzen	1	1
Betonfahrmischer	8	10
Autobetonpumpe	2	2

Tabelle 38: Gerätedisposition

Auf der Baustelle wird unproduktives Personal für die gesamte Baudauer beschäftigt. Das Personal besteht aus 1 Bauleiter, 2 Polieren, 1 Magazineur, 1 Laborant und 2 Kranfahrer.

Der Anzahl der Arbeitsnehmer wird in der Tabelle 39 aufgelistet.

Arbeitsnehmer	Variante A 3. Baulos	Variante B 1. Baulos
Bewehrungsarbeiter	10	10
Betonierungsarbeiter	6	12
Abdichtungsarbeiter	4	4
Helfer	3	6
Maschinist	4	4
Fahrer	16	8

Tabelle 39: Arbeitsnehmer

Die maximale Anzahl der Beschäftigten beträgt für Variante A 35 Arbeiter und für Variante B 33 Arbeiter. Der daraus abgeleitete Containerbedarf wird in Tabelle 40 dargestellt.

Containerart	Variante A - 3. Baulos	Variante B - 1. Baulos
Büro-/Aufenthaltscontainer 10'	2	4
Büro-/Aufenthaltscontainer 20'	8	6
Sanitärcontainer 8'	3	3
Sanitärcontainer 16'	1	1
Lagercontainer 20'	1	1
<b>Summe:</b>	<b>15</b>	<b>15</b>

Tabelle 40: Charakteristische Daten gängiger Container

### 6.3 Baukosten

Die Kosten für die Bauausführung des Tunnels sind:

- Variante A, 3. Baulos – 8.321.372,27 € (~9.910,- €/lfm);
- Variante B, 1. Baulos – 4.882.897,11 € (~6.510,- €/lfm).

Der ermittelte Angebotspreis der gewählten Baulose wird unten angegeben.

	<u>Variante A - 3. Baulos</u>	<u>Variante B - 1. Baulos</u>
Bauausführungskosten	8.321.372,27 €	4.882.897,11 €
+		
<u>Gewinn+Wagnis: 10%</u>	<u>832.137,23 €</u>	<u>488.289,71€</u>
Bauausführungspreis	9.153.509,50 €	5.371.186,82 €
+		
<u>Baustelleneinrichtungspreis</u>	<u>333.126,86 €</u>	<u>429.990,13 €</u>
Gesamtpreis	9.486.636,36 €	5.801.176,95 €
+		
<u>MwSt: 20%</u>	<u>1.897.327,27€</u>	<u>1.160.235,39 €</u>
<b>Angebotspreis</b>	<b>11.383.963,63 €</b>	<b>6.961.412,36 €</b>
	<b>13.552,34 €/lfm</b>	<b>9.281,88 €/lfm</b>

Die Differenz zwischen den Kosten für die Bauausführung beträgt 3.395,87 €/lfm. Dies entspricht ungefähr der Differenz zwischen den Kosten für die Herstellung der Verbauwände (Bohrpfahlwand bzw. Schlitzwand) (3.709,71 €/lfm).

	<u>Variante A - 3. Baulos</u>	<u>Variante B - 1. Baulos</u>
Verbauwände	4.303.920,00 €	1.060.500,00 €
<u>Baugrube + Innenschale</u>	<u>4.017.452,27 €</u>	<u>3.822.397,11 €</u>
Bauausführungskosten	8.321.372,27 €	4.882.897,11 €
	9.906,40 €/lfm	6.510,53 €/lfm

Die Bauarbeiten der Variante B dauern zwei Monate länger als jene der Variante A. Dies führt in der Folge zu einem höheren Baustellengemeinkosten von 96.863,29 € (429.990,15 € - 333.126,86 € = 96.863,29 €).

Aus dem betrachteten Bauablauf kann geschlossen werden, dass der wesentliche Kostenträger die Herstellung der Verbauwände ist. Die Kosten für die Herstellung der Baugrube und der Innenschale unterscheiden sich kaum zwischen den untersuchten Varianten. Es wird darauf hingewiesen, dass der ermittelte Gesamtpreis die Kosten für die Nebenarbeiten (Gleisbau, Belüftung, Stromversorgung usw.) nicht beinhaltet.

Aus wirtschaftlicher Sicht kann die offene Bauweise mit Bohrpfahlwänden (1. Baulos, Variante B) als kostengünstigste Lösung empfohlen werden. Hierbei sind jedoch die Sperrung der Strassen und daraus resultierende Behinderungen des Stadtverkehrs zu berücksichtigen. Als Alternative bietet sich die Deckelbauweise mit Schlitzwänden (3. Baulos, Variante A) als weitere Ausführungsmöglichkeit an, da hier der Verkehr nur kurzfristig umgeleitet werden muss. Aus diesem Grund und wegen der dargestellten Preisdifferenz wird eine zweischalige Ausführung der U-Bahnverlängerung mittels Deckelbauweise und aufgelösten Pfahlwänden empfohlen.

## QUELLENVERZEICHNIS

- BALDAUF, Heinrich; TIMM, Uwe: *Betonkonstruktionen im Tiefbau*, Berlin: Verlag für Architektur und technische Wissenschaften, 1988
- BISANI, Karl: *Beton- und Stahlbetonarbeiten, Skriptum zur Vorlesung*, München, 2006
- BRANDL, Heinz: *Studien Blätter*, Wien, 2006
- BRATOEV, Stoyan: *Seichtliegende U-Bahnen (Konstruktionen und Ausführung)*, Sofia: Bauwesen und Architektur, 1987
- *U-Bahn Sofia*, Sofia: Nota Bene!, 2004
- *Verlängerung der U-Bahn Sofia*, Sofia: Nota Bene!, 2008
- BUJA, Heinrich Otto: *Handbuch des Spezialtiefbaus - Geräte und Verfahren*, Düsseldorf: Werner Verlag GmbH & Co, 2001
- DEENICHINA, Gergana, BOZHKOVA, Yordan und PEHLIVANOVA, Stefka: *Handbuch für die Baukosten, Auflage 2/2009* - Sofia: Daniel SG GmbH, 2009
- DREES, Gerhard und REIFF, Karl-Otto: *Die Baustelleneinrichtung*, Düsseldorf: Werner-Verlag GmbH, 1971
- GIRSCH, Erwin: *Bohrhandbuch*, Wien: VÖBU, 2004
- HINKEL, Walter J., TREIBER, K. und VALENTA, G.: *U-Bahnen gestern - heute - morgen von 1863 bis 2010*, Wien: N. J. Schmidt Verlag Wien, 2004
- HUDELMAIER, Klaus F: *Spezialtiefbau - Kompendium Band II*, München: Ernst & Sohn, 2009
- IVANCHEV, Iliya: *Unterirdische Verkehrsanlagen (Notizen für die Studenten)*, Sofia, 2005
- JODL, Hans: *Bauverfahren in Tiefbau - Skriptum*, Wien, 2008
- JODL, Hans Georg und RESCH, Daniel: *Baustelleneinrichtung - Übungsbeispiel*, Wien, 2008
- KÖNIG, Horst: *Maschinen im Baubetrieb*, Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag, 2008
- LANGER, Elmar: *Kosten und Dimensionierung der Baustelleneinrichtung, Diplomarbeit*, Wien, 1998
- MAYBAUM, Georg, MIETH, Petra und OLTMANN, Wolfgang: *Verfahrenstechnik und Baubetrieb im Grund- und Spezialtiefbau*, Wiesbaden: Vieweg+Teubner, 2009
- MÖLLER, Gerd: *Geotechnik kompakt - Grundbau*, Berlin: Bauwerk Verlag GmbH, 2003
- NEUFERT, Ernst und Peter: *Architects' data*, Oxford: Blackwell Science, 2006

- OGANESOV, Georgi und BRATOEV, Stoyan: *U-Bahn-Bau*, Sofia: Technika, 1990
- ÖkoKauf Wien, *Ökoeffiziente Entscheidungshilfen im Tiefbau*, Wien
- PECH, Anton; KOLBITSCH, Andreas: *Baukonstruktionen, Band 6: Keller*, Wien : Springer Wien, 2006
- RESCH, Daniel: *Übungsbeispiel - Erdbau*, Wien, 2008
- SCHACH, Rainer und OTTO, Jens. 2008. *Baustelleneinrichtung, Grundlagen - Planung - Praxishinweise - Vorschriften und Regeln*. Wiesbaden : B. G. Teubner Verlag, 2008
- SCHMITT, Roland: *Die Schalungstechnik - Systeme, Einsatz und Logistik*, Berlin: Ernst & Sohn, 2001
- SEITZ, Jörn und SCHMIDT, Heinz-Günter: *Bohrpfähle*, Berlin: Ernst & Sohn, 2000
- VOTH, Berthold: *Tiefbaupraxis*, Berlin: Bauverlag GmbH, 1995
- WIESER, Isabella, JODL, Hans George und RESCH, Daniel: *Interdisziplinäre Seminararbeit, Nachkalkulation der Aufwandswerte für Schalungs- und Betonarbeiten S1 Tunnel Rannersdorf*, Wien, 2009

Firmenprospekt:

- Brueckner Grundbau GmbH, 2007
- BVV Spezialbautechnik Vertriebs GmbH, 2009
- Container Handelsgesellschaft m.b.H., 2009
- Debuschewitz Verkehrstechnik GmbH & Co. Köln, 2008
- ECO Technology GmbH., Sofia, 2009
- Liebherr International Deutschland GmbH, 2008

Homepage:

- [www.bg.guide-bulgaria.com](http://www.bg.guide-bulgaria.com), 2007
- [www.cez.bg](http://www.cez.bg), 2009
- [www.peri.de](http://www.peri.de)
- [www.rockall.com](http://www.rockall.com).
- [www.sofiyskavoda.bg](http://www.sofiyskavoda.bg), 2009
- [www.bilfingerberger.at](http://www.bilfingerberger.at), 2009

## ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abb. 1: a) Netzgestaltung der U-Bahn Sofia; b) Netzgestaltung der U-Bahn Sofia mit der geplanten Aststrecke .....	9
Abb. 2: Schema der vier Anbindungsmöglichkeiten .....	10
Abb. 3: Lageplan - Variante B.....	11
Abb. 4: Baugruben.....	13
Abb. 5: Mögliche Bauweisen bei Tunnelquerschnitten – a) Bauweise ohne Arbeitsfugen; b) Wand/Decke-Verfahren; c) Sohle/Wand- Verfahren; d) Sohle, Wand und Decke für sich hergestellt.....	15
Abb. 6: Einsatz der Regelquerschnitte – a) RQ 0; b) RQ 1 und c) RQ 2.....	16
Abb. 7: Regelquerschnitte – a) RQ 0; b) RQ 1 und c) RQ 2.....	17
Abb. 8: Regelquerschnitt 0 - a) Baugrube bis 3 m Tiefe; b) Baugrube über 3 m Tiefe.....	17
Abb. 9: RQ 1 .....	18
Abb. 10: RQ 2 .....	19
Abb. 11: Typen von Bohrpfahlwände nach der Anordnung .....	21
Abb. 12: Geometrie einer Pfahlwand.....	22
Abb. 13: Übersicht über die Pfahlarten.....	23
Abb. 14: Anwendungsbeispiele.....	25
Abb. 15: Herstellung eines verrohrten Bohrpfahles .....	27
Abb. 16: Herstellung eines unverrohrten Bohrpfahles ohne Stützflüssigkeit.....	28
Abb. 17: Herstellung eines unverrohrten Bohrpfahles mit Stützflüssigkeit .....	28
Abb. 18: Bohrschablonen für Pfahlwände .....	29
Abb. 19: Bohrverfahren.....	30
Abb. 20: Bohrrohr und Schneidschuh.....	31
Abb. 21: Hydraulische Verrohrungsmaschine und Zweiseilgreifer .....	31
Abb. 22: Drehbohranlage für Arbeiten mit der kurzen Bohrschnecke .....	33
Abb. 23: Doppelkopfbohrverfahren.....	34
Abb. 24: HW-Verfahren .....	35
Abb. 25: Vibrationsverfahren .....	36
Abb. 26: Jumbo-Verfahren.....	36
Abb. 27: Unverrohrte Hydraulikverfahren mit Langschnecke .....	37
Abb. 28: Schema des Lufthebe- und Saugbohrverfahrens.....	39

Abb. 29: Bildung des Filterkuchens .....	40
Abb. 30: Betonierrohr mit Trichter.....	43
Abb. 31: Schema des Kontraktorverfahrens.....	44
Abb. 32: Arbeitsweise beim Abfräsen mit Pfahlkopffräse .....	45
Abb. 33: Tunnelquerschnitt in einer Blockfuge .....	47
Abb. 34: Bohrschablone .....	49
Abb. 35: Durchgehende Bohrschnecke .....	50
Abb. 36: Schema für den Bewehrungseinbau im Querschnitt.....	51
Abb. 37: Pfahlkopf-Fräse.....	52
Abb. 38: Hydraulikbagger auf Raupen.....	53
Abb. 39: Stützgewölbe.....	53
Abb. 40: Verfüllen des Zwischenraums .....	54
Abb. 41: Detail der Feuchtigkeitsschutz .....	55
Abb. 42: Positon der Schalwagen entlang der Trasse.....	55
Abb. 43: Arbeitsablauf eines Blockes im Wochentakt .....	56
Abb. 44: Teilmonolithischer Tunnelquerschnitt.....	56
Abb. 45: Dimensionierung von Wendemöglichkeiten .....	58
Abb. 46: a) Geschlossener Bauzaun; b) Sicherungsmaßnahmen einer Baustelle (Beispiel) .....	64
Abb. 47: Grundriss und Ansicht des gewählten Bauloses (überhöht) .....	66
Abb. 48: Schema für Ermittlung der Erdmassen.....	67
Abb. 49: Stützgewölbe zwischen den Bohrpfählen.....	75
Abb. 50: Zwischenraum – Verfüllung mit Beton.....	75
Abb. 51: Positon der Schalwagen entlang der Trasse.....	76
Abb. 52: Arbeitsablauf eines Blockes im Wochentakt .....	76
Abb. 53: Ermittlung der Kosten für das Herstellen der Unterbetonschicht nach Handbuch für Baukosten.....	77
Abb. 54: Schematische Darstellung der Arbeitsschritte – a) Deckelbauweise; b) offene Bauweise .....	95
Abb. 55: Lage der betrachteten Baulosen – a) Variante A; b) Variante B .....	95
Abb. 56: Bagger – a) Tunnelbagger; b) Hydraulikbagger auf Raupen .....	96
Abb. 57: Verbauwand – a) Schlitzwand; b) Bohrpfahlwand.....	97
Abb. 58: Geräte für die Herstellung der Schlitzwand – a) Hydraulik-Seilbagger mit Greifer; b) Bentonitanlage.....	97

---

Abb. 59: Geräte für die Herstellung der Bohrpfahlwand – a) Trägergerät mit durchgehender Schnecke; b) Pfahlkopffräse .....	98
Abb. 60: Querschnitt des Bewehrungskorbes – a) Schlitzlamelle; b) Bohrpfahl.....	98
Abb. 61: Position der Schalwagen entlang der Trasse – a) Variante A; b) Variante B .....	99
Abb. 62: Arbeitsablauf im Wochentakt – a) Variante A; b) Variante B.....	100

## TABELLENVERZEICHNIS

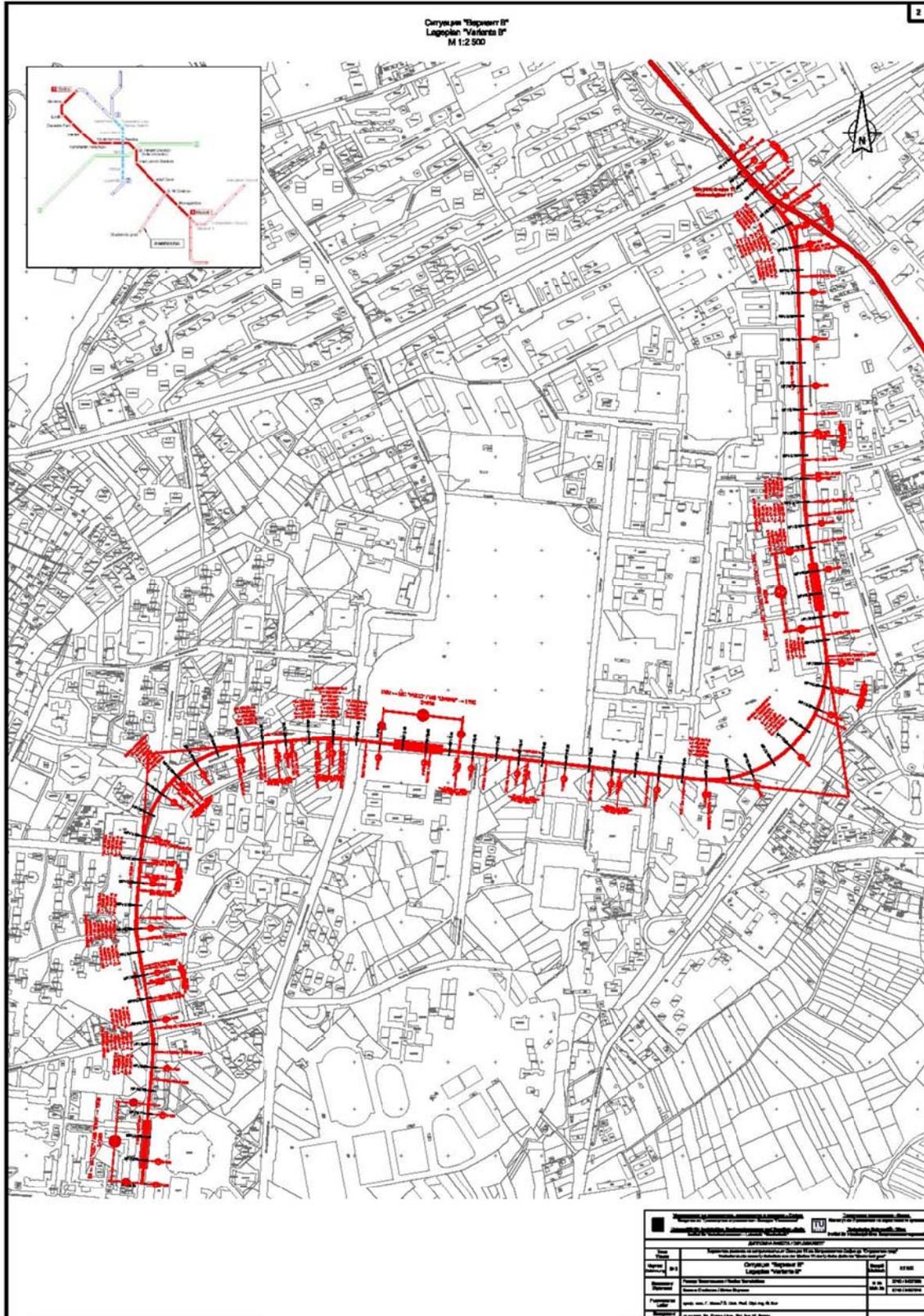
Tabelle 1: Stationsabstände .....	11
Tabelle 2: Einsatzbereich der Bohrverfahren“ .....	41
Tabelle 3: Wichtigste Anforderungen an der Bewehrung nach ÖNORM EN 1536.....	42
Tabelle 4: Übersicht über die drei Baulose .....	46
Tabelle 5: Übersicht über den verwendeten Beton in den Bohrschablonen.....	49
Tabelle 6: Übersicht über die verwendete Bewehrung in den Bohrschablonen .....	50
Tabelle 7: Übersicht über den verwendeten Beton in den Verbauwänden.....	51
Tabelle 8: Übersicht über die verwendete Bewehrung in den Verbauwänden .....	52
Tabelle 9: Übersicht über die verwendete Bewehrung in der Tunnelkonstruktion.....	56
Tabelle 10: Übersicht über den verwendeten Beton in der Tunnelkonstruktion .....	56
Tabelle 11: Gerätedisposition .....	57
Tabelle 12: Charakteristische Daten gängiger Container.....	59
Tabelle 13: Abmessungen und Massen gängiger Container.....	61
Tabelle 14: Stellflächen verschiedener Materialien .....	61
Tabelle 15: Ermittlung des Strombedarfes .....	62
Tabelle 16: Ermittlung der Anschlusswert .....	63
Tabelle 17: Kosten Hydraulikbagger.....	68
Tabelle 18: Gerätewahl Verfuhr.....	69
Tabelle 19: Kosten LKW .....	70
Tabelle 20: Kosten Hydraulikbagger.....	72
Tabelle 21: Gerätewahl Verfuhr.....	72
Tabelle 22: Kosten LKW .....	73
Tabelle 23: Massenermittlung der Aussteifungselemente .....	74
Tabelle 24: Gerätewahl Verfuhr.....	81
Tabelle 25: Kosten LKW .....	82
Tabelle 26: Kosten Tandemvibrationswalzen .....	84
Tabelle 27: Ermittlung des Gesamtpreises für Einrichten der Baustelle.....	86
Tabelle 28: Ermittlung des Gesamtpreises für Räumen der Baustelle .....	87
Tabelle 29: Ermittlung des Gesamtpreises .....	89
Tabelle 30: Ermittlung der Kosten – AV und Rep. für die gewählten Container .....	90
Tabelle 31: Ermittlung der Kosten für die Vorhaltegeräte.....	91

---

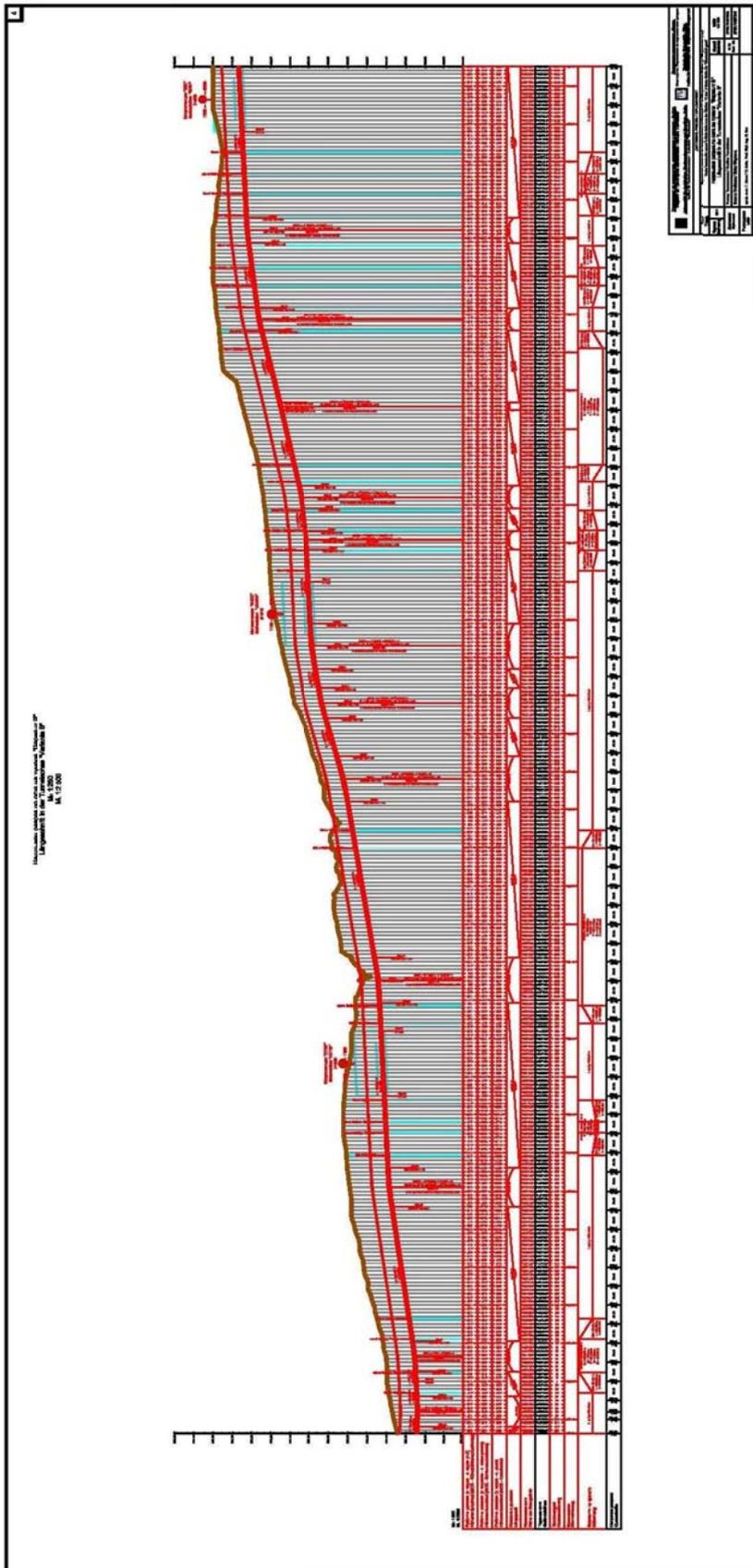
Tabelle 32: Ermittlung der Gerätepreis .....	92
Tabelle 33: Baustellengesamtpreis.....	92
Tabelle 34: Einsatzlänge der Regelquerschnitte für beide Variante .....	94
Tabelle 35: Übersicht über den Materialaufwand der Verbauwände .....	99
Tabelle 36: Wesentliche Daten für die Herstellung der Schlitz-/Bohrpfahlwand.....	99
Tabelle 37: Übersicht über den Materialaufwand der Innenschale.....	100
Tabelle 38: Gerätedisposition .....	102
Tabelle 39: Arbeitsnehmer.....	102
Tabelle 40: Charakteristische Daten gängiger Container .....	103

ANHÄNGE

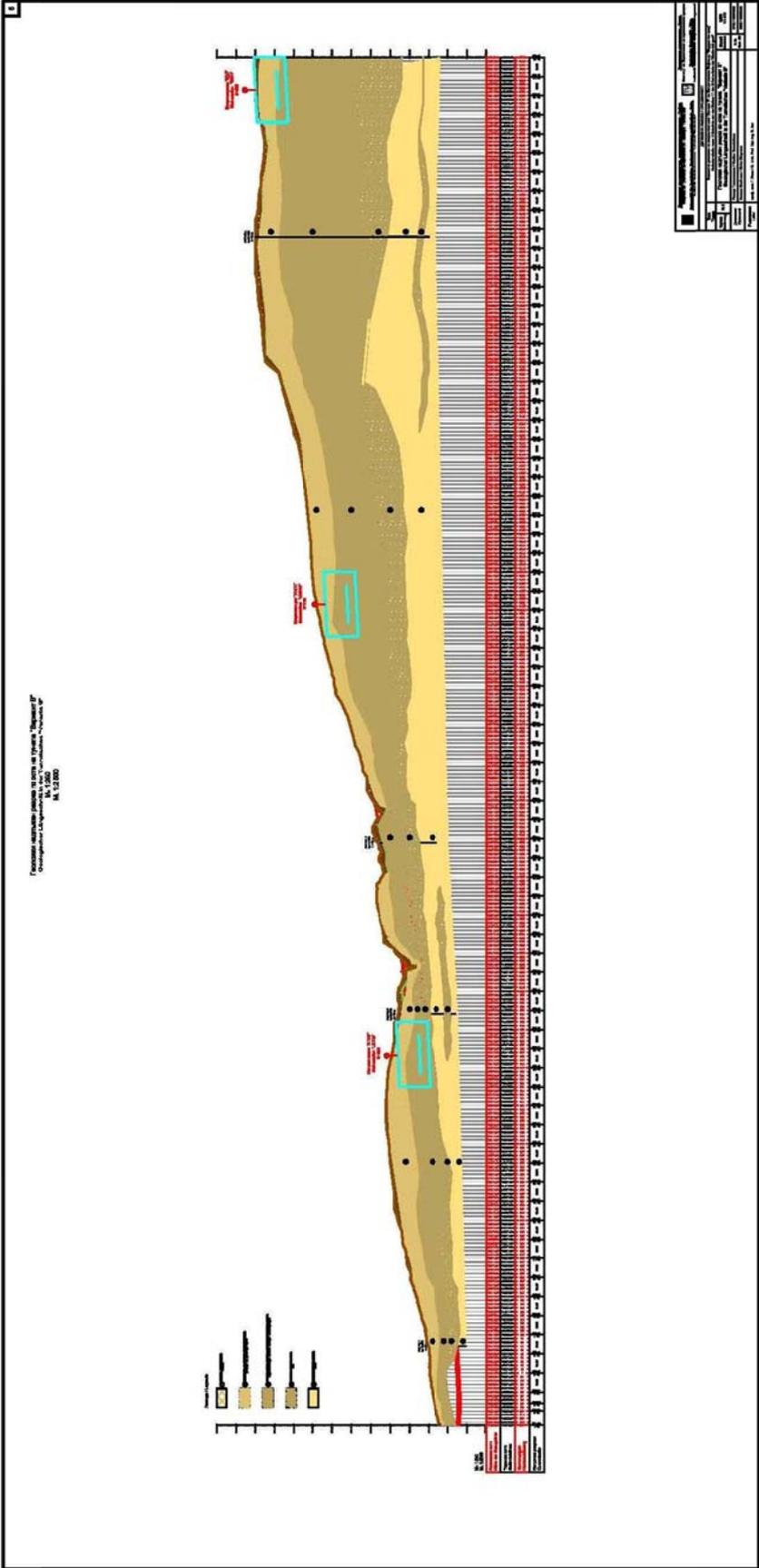
ANHANG 1: LAGEPLAN



ANHANG 2: LÄNGSSCHNITT IN DER TUNNELACHSE



ANHANG 3: GEOLOGISCHER LÄNGSSCHNITT IN DER TUNNELACHSE



ANHANG 4: BEWEHRUNGSPLAN – BOHRPFAHL TYP 2, KM 0+250

**20**

**Армировъчен план - Пилотна стена тип 2, км 0+250 - "Вариант В"**  
**Bewehrungsplan - Pfahlwand Typ 2, km 0+250 - "Variante B"**

Истор. / Grundriß  
N 1:25

Вореш борбор / Bohrchablone L = 12 m  
M 1:25

Разрез / Schnitt  
A-A

Разрез / Schnitt  
B-B

Спецификация - Вореш борбор, L = 12 m  
Stückliste - Bohrchablone, L = 12 m

Тип Pos.	Форма Form	Стремена Stahl	N	Брой Stück	Ед. Дължина Einzellänge	Общ Дължина Gesamtlänge	Ед. Тегло Gewicht	Общ тегло Gesamtbewicht	Заб. Bem.
1	□	BSt-500	14	6	12,00	72,00	1,208	0,067	
2	□	BSt-500	6,5	60	1,20	72,00	0,206	0,015	
3	□	BSt-500	6,5	60	0,35	21,00	0,206	0,004	
<b>Всичко Total</b>								<b>0,106</b>	

Спецификация - Пилот, км 0+250  
Stückliste - Pfahl, km 0+250

Поз. Pos.	Форма Form	Стремена Stahl	N	Брой Stück	Ед. Дължина Einzellänge	Общ Дължина Gesamtlänge	Ед. Тегло Gewicht	Общ тегло Gesamtbewicht	Заб. Bem.
1	—	BSt-500	20	12	10,00	120,00	2,468	0,296	
2	—	BSt-500	12	1	75,00	75,00	0,888	0,067	
3	—	BSt-500	16	3	1,30	3,90	1,578	0,006	
4	—	BSt-500	16	6	1,80	10,80	1,578	0,017	
5	—	BSt-500	16	1	2,70	2,70	1,578	0,004	
6	—	BSt-500	12	16	0,75	12,00	0,888	0,011	
<b>Всичко Total</b>								<b>0,401</b>	

**Забелужки**

1. Бетон C 30/37
2. Стремена S 500
3. Еlemenтите от 4 до 6 да се заваряват или надлъжно или напречно, пръте не се явяват за свързване на връхчетата.
4. Да се правят наклонени арматури с ъгъл 45° за осигуряване на необходимостта на свързване на връхчетата.
5. Да се осигури минимално бетоново покритие 7,5 cm.

**Анмечунген**

1. Beton C 30/37
2. Stahl S 500
3. Für Stabigkeit werden die Elementen von 4 bis 6 zu dem Betonstahl geschweißt.
4. Für die Stabigkeit der Winkel von 45° sind die Bewehrung muss min 7,5 cm sein.

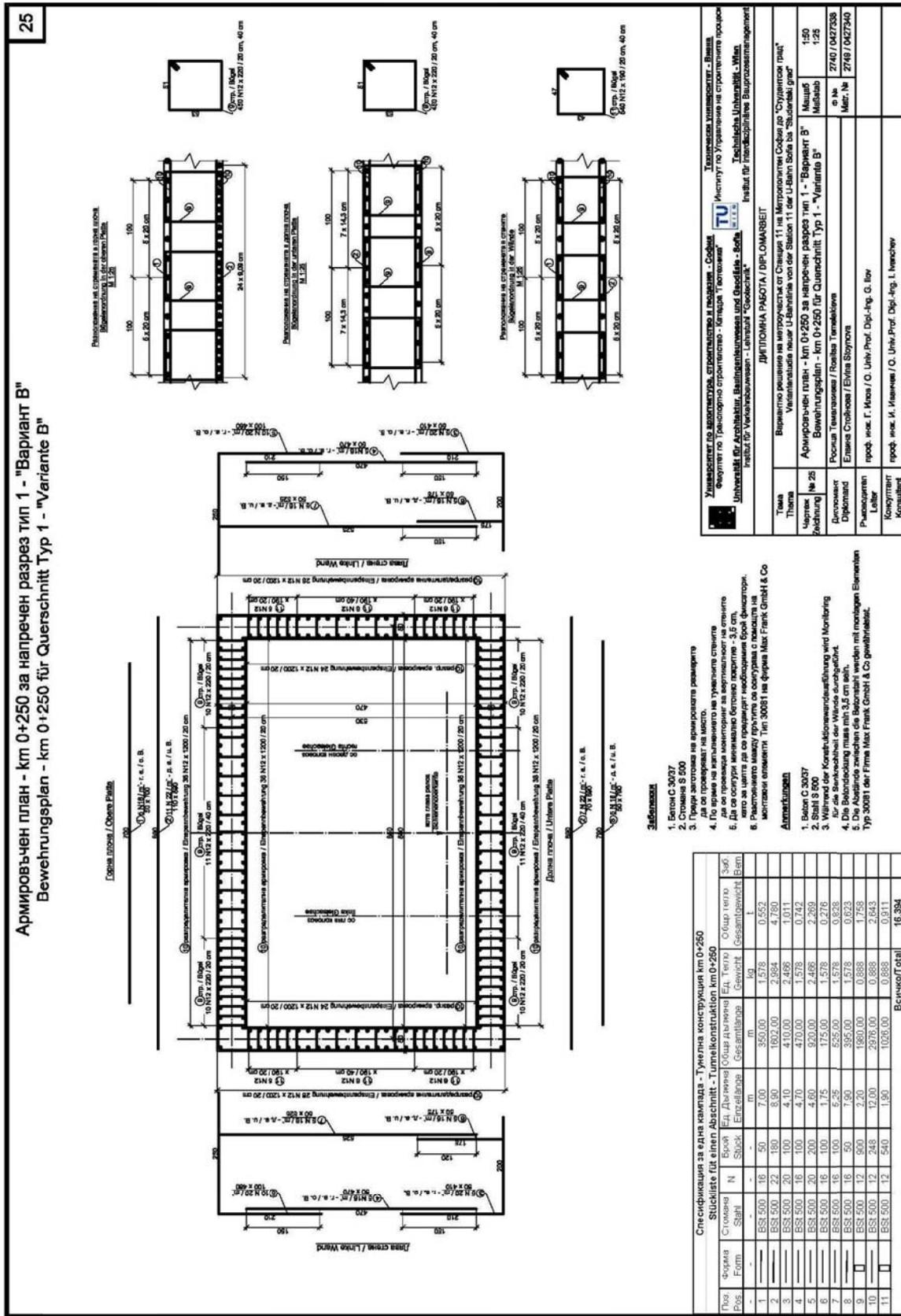
**Универзитет по архитектура, строителство и поземно-селищно строителство - София**  
Факултет по Тракийско строителство - Катедра "Технология на строителството"

**Институт по Управление на строителните процеси**  
Техническа Универзитет - Wien  
Институт für Interdisziplinäre Bauwerksmanagement

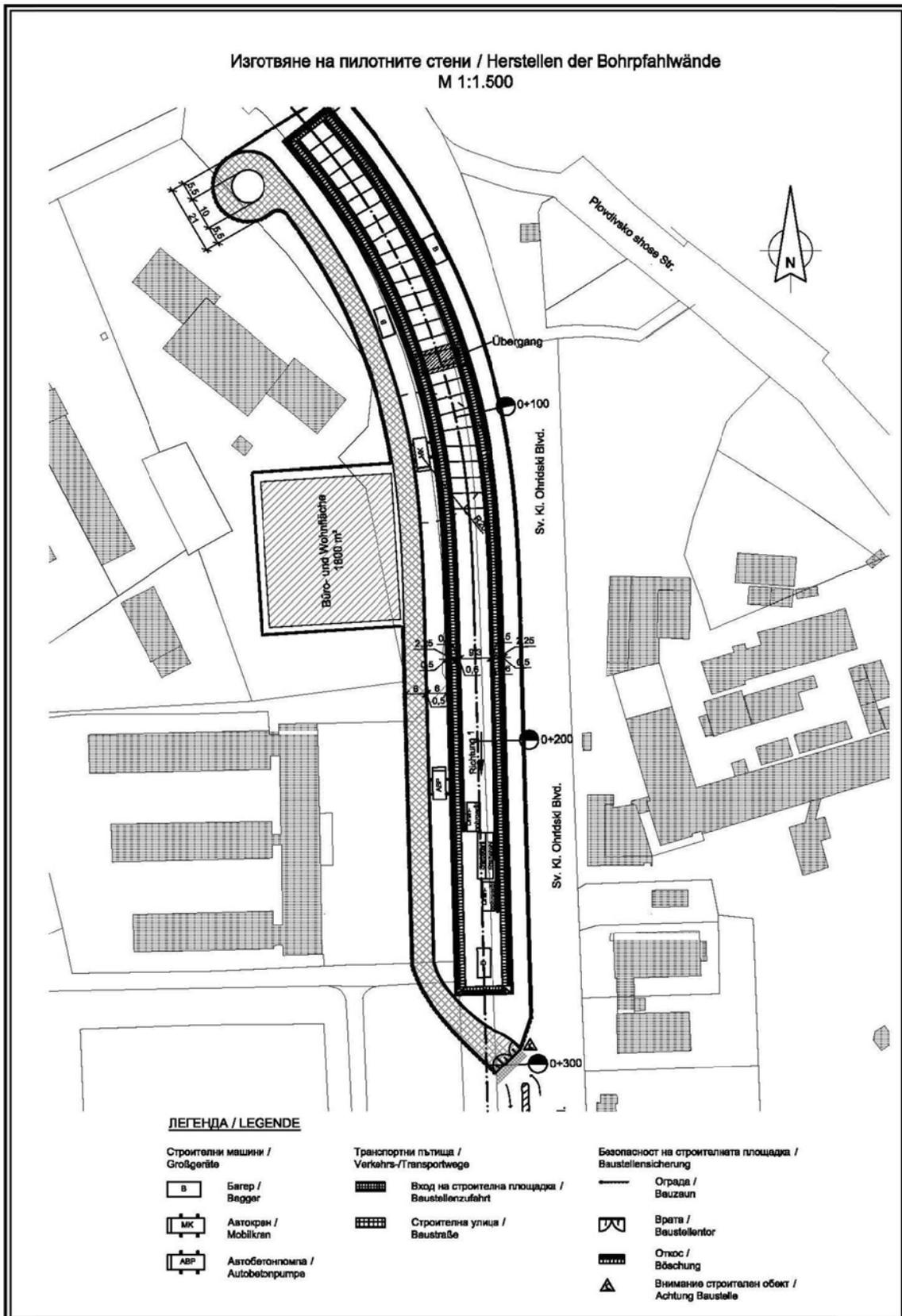
**ДИПЛОМНА РАБОТА / DIPLOMARBEIT**

Тема Thema	Вероятно решение на мостовото строителство от Станция 11 на Метрополитен София до "Студентски град" Variantenstudie einer U-Bahnstation von der Station 11 der U-Bahn Sofia bis "Studentenplatz"
Чертеж Zeichnung	Армировъчен план - Пилотна стена тип 2, км 0+250 - "Вариант В" Bewehrungsplan - Pfahlwand Typ 2, km 0+250 - "Variante B"
Дисциплина Diplomand	Профия Темелни знания / Fachwissen Елена Стойчева / Elena Stoycheva
Ръководител Lehrer	проф. инж. Г. Илиев / O. Univ. Prof. Dipl.-Ing. G. Iliev
Консултант Konsultant	проф. инж. И. Иванчев / O. Univ. Prof. Dipl.-Ing. I. Ivanchev

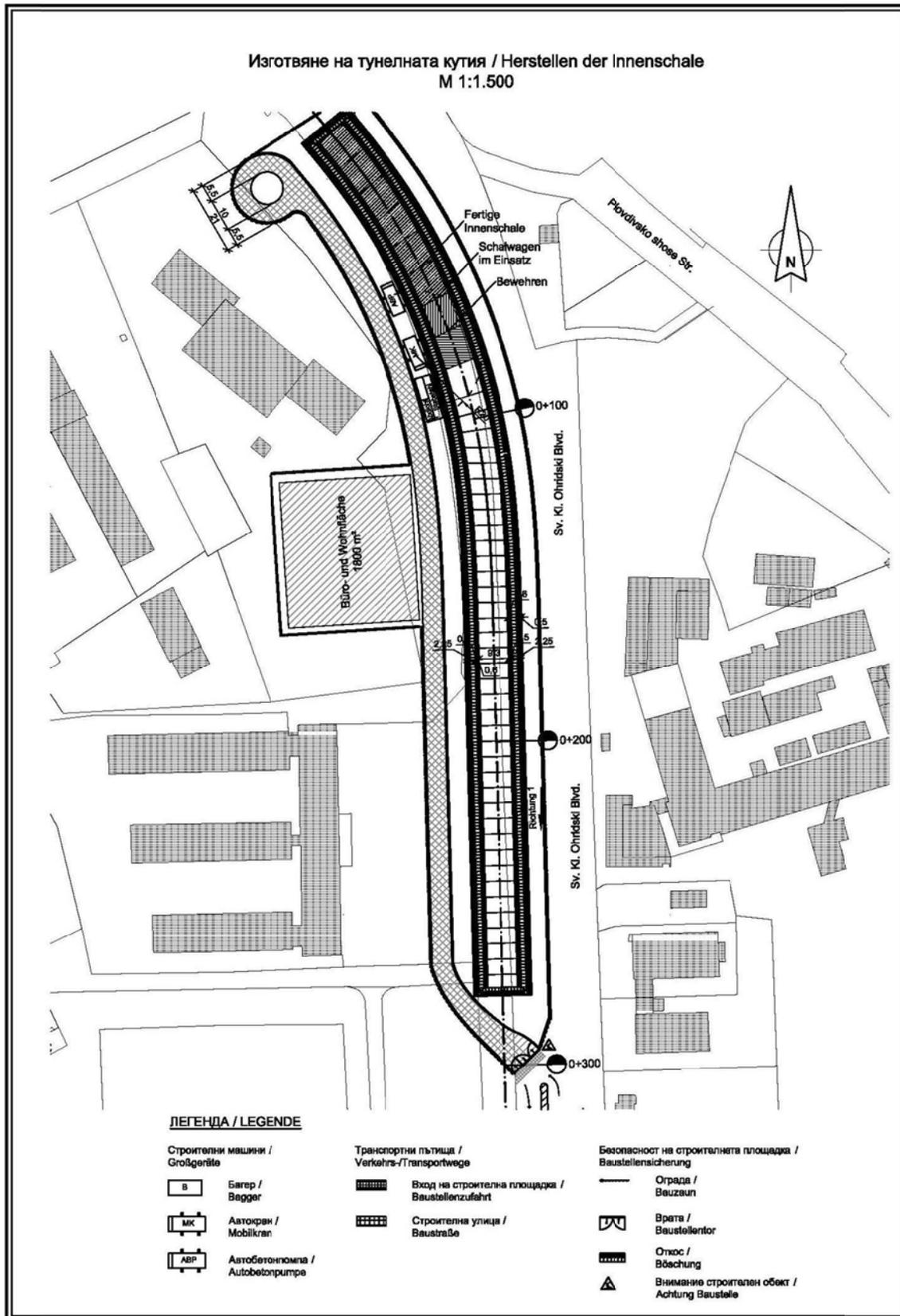
ANHANG 5: BEWEHRUNGSPLAN – INNENSCHALE RQ 1.1, KM 0+250



ANHANG 6: BAUSTELLENEINRICHTUNGSPLAN – HERSTELLEN DER BOHRPFÄHLWÄNDE



ANHANG 7: BAUSTELLENEINRICHTUNGSPLAN – HERSTELLEN DER INNENSHALE



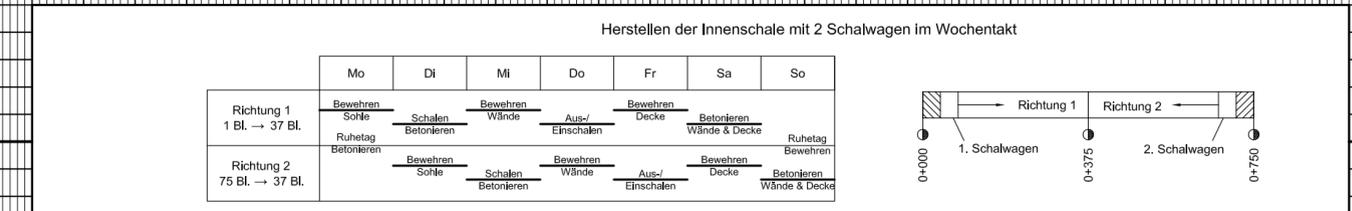
# КАЛЕНДАРЕН ПЛАН / BAUZEITPLAN

## Вариант В / Variante B

### Укрепване с пилотни стени / Bohrfahlwandherstellung

### Открит способ / Offene Bauweise

Стр. п-си Arbeitsvorgänge	Работни седмици Arbeitswochen	W																																																																						
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	
Предварителен изкоп Vorauh Schub	1 M	45 AT	HB Lauf Rauchen 108 m³/h																																																																					
Изпълнение на стена от единични пилоти Bohrpfahlerstellung	2 x 5 M	88 AT	2 Drehbohrmischler mit langer Schnecke 10 m³/h																																																																					
Укрепване с разпонки Stahlrohre	2 M	52 AT	2 HB Lauf Rauchen 81 m³/h																																																																					
Изкоп Aushub der Baugrube	2 x 1 M	52 AT	2 HB Lauf Rauchen 81 m³/h																																																																					
Торкретиране разстоянията между пилотите Stützgewölbe zw. Bohrpfehlen	4 M	51 AT	Betonspritzgerät und Klebbohrgerät 15 m³/h																																																																					
Запълване разстоянията между пилотите Verfüllung des Zwischenraumes	4 M	45 AT	ABP 4 m³/h																																																																					
Полгане на подложен бетон Unterbeton	4 M	24 AT	ABP 11 m³/h																																																																					
Торкретиране - стени Spritzbeton - Wände	2 M	15 AT	Betonspritzgerät 10 m³/h																																																																					
Полгане на изолация - стени Abdichtung - Wände	4 M	33 AT	1 + 36 BL 37,5 m³/h																																																																					
Изолация и предпазен бетон - долна плоча Abdichtung & Schutzschicht - Sohle	4 M	9 AT	100 m³/h																																																																					
Армиране - долна плоча Bewehrung - Sohle	8 M	38 AT 37 AT	1 + 38 BL / 0,8 m³/h 75 + 39 BL / 0,8 m³/h																																																																					
Котриране и бетониране - долна плоча Betonieren & Schalen - Sohle	6 M	38 AT 37 AT	2 ABP: 1 + 38 BL / 14 m³/h 2 ABP: 75 + 39 BL / 18 m³/h																																																																					
Армиране - стени Bewehrung - Wände	8 M	38 AT 37 AT	1 + 38 BL / 0,8 m³/h 75 + 39 BL / 0,8 m³/h																																																																					
Котриране/декофриране - горна плоча и стени Ein-/Ausshalen - Decke und Wände	4 M	38 AT 37 AT	1 Schalwagen: 1 + 38 BL 2 Schalwagen: 75 + 39 BL																																																																					
Армиране - горна плоча Bewehrung - Decke	8 M	38 AT 37 AT	1 + 38 BL / 0,8 m³/h 75 + 39 BL / 0,8 m³/h																																																																					
Бетониране - горна плоча и стени Betonieren - Decke und Wände	4 M	38 AT 37 AT	2 ABP: 1 + 38 BL / 7 m³/h 2 ABP: 75 + 39 BL / 7 m³/h																																																																					
Полгане на изолация - горна плоча Abdichtung - Decke	4 M	9 AT	1 + 38 Block / 100 m³/h 75 + 39 Block / 100 m³/h																																																																					
Обратна засипка/ Уплътняване Rückfüllung / Verdichtung	3 M	75 AT	Planiersaure / TVW 1 + 38 Block / 87 m³/h 75 + 39 Block / 87 m³/h																																																																					



- Забележки:**
- 1 + 27 седмица → 5 РД/седм.;
  - 28 + 69 седмица → 7 РД/седм.;
  - Съкращения:
  - W - седмица;
  - M - работници;
  - AT - работен ден;
  - HB - хидравличен багер;
  - ABP - автобетонпомпа;
  - TVW - Tandemvibrationswalzen.

- Bemerkungen:**
- 1 + 27 Wochen → 5 AT/Wo;
  - 28 + 69 Wochen → 7 AT/Wo;
  - Abkürzungen:
  - W - Woche;
  - M - Mann;
  - AT - Arbeitstag;
  - HB - Hydraulikbagger;
  - ABP - Autobetonpumpe;
  - TVW - Tandemvibrationswalzen.

